



UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
FACULDADE DE QUÍMICA

ELIVELTON DE SANTA CRUZ PEREIRA

POTENCIAL DOS RESÍDUOS VEGETAIS DO EXTRATIVISMO AMAZÔNICO
PARA SÍNTESE DE CARVÃO ATIVADO DE ALTA CAPACIDADE ADSORTIVA

MARABÁ

2022

ELIVELTON DE SANTA CRUZ PEREIRA

**POTENCIAL DOS RESÍDUOS VEGETAIS DO EXTRATIVISMO AMAZÔNICO
PARA SÍNTESE DE CARVÃO ATIVADO DE ALTA CAPACIDADE ADSORTIVA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Química da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, como requisito básico para a formação em Licenciatura Plena em Química.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Adriano de Oliveira Carvalho

MARABÁ

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
Biblioteca Setorial Campus do Taurizinho

P436p Pereira, Elivelton de Santa Cruz
Potencial dos resíduos vegetais do extrativismo amazônico para síntese de carvão ativado de alta capacidade adsorptiva / Elivelton de Santa Cruz Pereira. — 2022.
62 f.: il. (algumas color).

Orientador (a): Francisco Adriano de Oliveira Carvalho.
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Instituto de Ciências Exatas, Faculdade de Química, Curso de Licenciatura Plena em Química, Marabá, 2022.

1. Carvão ativado. 2. Adsorção. 3. Resíduos vegetais. I. Carvalho, Francisco Adriano de Oliveira, orient. II. Título.

CDD: 22. ed.: 660.284235

ELIVELTON DE SANTA CRUZ PEREIRA

**POTENCIAL DOS RESÍDUOS VEGETAIS DO EXTRATIVISMO AMAZÔNICO
PARA SÍNTESE DE CARVÃO ATIVADO DE ALTA CAPACIDADE ADSORTIVA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Química da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, como requisito básico para a formação em Licenciatura Plena em Química.

Data de aprovação: Marabá (PA), 03 de novembro de 2022

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Francisco Adriano de Oliveira Carvalho
Orientador

Prof. Dr. Adriane Damasceno Vieira de Souza
Examinador externo

Prof. Dr. Ulisses Brigatto Albino
Examinador externo

Dedico esse presente trabalho ao meu falecido pai, minha mãe, minha filha, aos meus parentes, amigos, colegas e ao Prof. Orientador.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ser sempre o meu refúgio nos momentos de dificuldades, por cuidar de mim, por me conceder saúde e sabedoria, pois sem essas bênçãos nada disso seria possível.

Ao meu pai Clemente Lopes Pereira (*in memoriam*) por todos os ensinamentos, amor e dedicação não só comigo, mas também com meus irmãos. Sou grato por toda confiança, por sempre acreditar na minha capacidade, por sempre me incentivar a estudar e a lutar pelos meus objetivos e sonhos.

A minha mãe Eva Viana de Santa Cruz Ramos que sempre esteve ao meu lado nos momentos bons e ruins. Uma mulher guerreira, que mesmo em meio às dificuldades sempre deu o melhor de si para ver os filhos bem.

A minha filha Yasmin Sollange Lopes de Santa Cruz pelos momentos de alegria e por me fazer ser um homem melhor a cada dia.

Aos meus irmãos: Edson Viana, Evaldo Pereira, Edenilson Pereira (*in memoriam*), Helem Pereira e Elane Pereira pela companhia e amizade.

A Gildete Pompeu Moreira pelo companheirismo, atenção, paciência e apoio durante toda a graduação.

Aos meus amigos Matheus da Cruz e Brenda Thalita pela parceria nas pesquisas.

Aos meus colegas de turma. Agradeço a cada um de vocês pelo companheirismo, discussões e amizade construída nesses anos de graduação.

A todos meus amigos que de forma direta ou indireta me ajudaram na realização desse sonho.

A Associação de Remanescente de Quilombos de Bailique-centro, Bailique-beira, Poção e São Bernardo (ARQBI) por todo apoio e reconhecimento.

Ao meu orientador Prof. Dr. Francisco Adriano Oliveira de Carvalho por ter aceitado o desafio de me orientar. Obrigado pela paciência, pelos ensinamentos e pela amizade construída durante estes anos.

A Capes e a Fapespa pelas bolsas disponibilizadas, as quais foram de grande valia para minha formação.

Por fim, a todos os professores da FAQUIM, em especial a Prof. Dr. Adriane Damasceno e ao Prof. Dr. Sebastião da Cruz, que contribuíram de forma direta ou indireta para a minha formação e realização deste trabalho.

“Essa página dedico a vocês”

RESUMO

Um dos grandes problemas da atualidade é a poluição dos recursos hídricos. Muitos são os danos ambientais causados pelo descarte indevido de resíduos, como corantes, metais pesados e compostos orgânicos nos cursos d'água. Neste sentido, há uma grande demanda de desenvolver sistemas e metodologias de remediação eficazes de baixo custo para a remoção desses efluentes de corpos d'água. Vários processos são usados para este fim, no entanto, a adsorção com o uso de carvão ativado oriundo de biomassas tem ganhado destaque. Assim, o presente trabalho buscou avaliar o potencial adsorptivo dos carvões ativados obtidos a partir dos resíduos vegetais do bioma amazônico, cacho de pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth), caroço de cajá (*Spondias mombin* L.), casca de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) e braço de buriti (*Mauritia vinifera*), visando a remediação de contaminantes em efluentes aquosos. Os materiais previamente limpos e secos foram carbonizados num forno mufla em atmosfera aberta, com temperatura variando entre 600 e 900 °C por 2h. A caracterização dos diferentes adsorventes foi realizada por meio da Espectroscopia Vibracional na Região do Infravermelho (FTIR). Os ensaios de adsorção mostram que todos os adsorventes foram mais eficientes para a remoção do corante têxtil verde brilhante (VB), quando comparado a remoção do corante têxtil amarelo ácido 17 (AY 17). Ademais, os adsorventes designados, CCP700 (carvão da casca de cupu a 700 °C), CCJ800 (carvão do caroço de cajá a 800 °C) e o CPP700 (carvão do cacho de pupunha a 700 °C) foram os mais eficientes para a remoção do corante têxtil verde brilhante, indicando que a temperatura de síntese é um fator importante para obtenção de materiais com alta capacidade adsorptiva. Os ensaios de adsorção sugerem, também, que os materiais possuem alta capacidade adsorptiva devido à alta remoção do corante têxtil verde brilhante mesmo na presença de uma pequena massa de adsorvente. Além disso, em meio básico o índice de remoção foi superior ao meio ácido, alcançando 99,8% de remoção com 0,2 g de adsorvente e pH 6 para todos os carvões usados no experimento, apontando que as interações eletrostáticas são importantes no processo de adsorção. Outrossim, os ensaios de adsorção com os carvões sintetizados e comercial são muito próximos para a remoção do corante têxtil verde brilhante. Infere-se, portanto, que a utilização dos adsorventes produzidos neste trabalho também é viável para utilização comercial e são promissores para o tratamento de efluentes contaminados.

Palavras chave: adsorvente; ensaios de adsorção; amarelo ácido 17; verde brilhante.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fórmula estrutural do corante têxtil amarelo ácido 17	22
Figura 2 - Fórmula estrutural do corante têxtil verde brilhante.....	23
Figura 3 – Imagem do cupuaçuzeiro (<i>Theobroma grandiflorum</i>)	30
Figura 4 – Imagem da casca de cupuaçu	31
Figura 5 – Imagem do buritizeiro (<i>Mauritia vinifera</i>)	32
Figura 6 – Imagem de pupunheiras (<i>Bactris gasipaes</i> Kunth).....	33
Figura 7 – Imagem da cajazeira (<i>Spondias mombin</i> L.).....	34
Figura 8 – Imagem de caroços de cajá	35
Figura 9 - Aspecto visual dos precursores carbonizados: a) Caroço de cajá a 600 °C e b) demais precursores.	40
Figura 10 - Espectros vibracionais (FTIR) na região de 4000 a 400 cm ⁻¹ dos adsorventes: in natura e carbonizados.	43
Figura 11 - Curva de calibração para o corante têxtil aniônico amarelo ácido 17	44
Figura 12 - Remoção do corante AY 17 na concentração de 200 mg/L com 0,5 g dos carvões em diferentes temperaturas de carbonização	45
Figura 13 - Remoção do corante AY 17 na concentração de 100 mg/L com 0,5 g dos carvões em diferentes temperaturas de carbonização	46
Figura 14 - Aspecto visual do corante AY 17 após os ensaios de adsorção em diferentes concentrações com a utilização dos diferentes adsorventes. a) 200 mg/L: 1 (BT 600), 2 (CCJ 700), 3 (CCJ 800), 4 (CCP 600), 5 (CCP 700), 6 (CCP 800), 7 (CPP 600), 8 (CPP 700) e 9 (CPP 800); b) 100 mg/L: 1 (BT 600), 2 (CCJ 700), 3 (CCJ 800), 4 (CCP 600), 5 (CCP 700), 6 (CCP 800), 7 (CPP 600), 8 (CPP 700) e 9 (CPP 800) e c) 100 mg/L: 1 (CCP 900), 2 (CPP 900) e 3 (CCJ 900).	47
Figura 15 - Curva de calibração para o corante têxtil catiônico Verde Brilhante	48
Figura 16 - Aspecto visual do corante VB após os ensaios de adsorção em diferentes concentrações. a) 100 mg/L; b) 200 mg/L; c) 300 mg/L e d) 500 mg/L. Utilizando 0,5 g de cada carvão. Nos tubos de ensaio foram colocados os seguintes carvões: 1 (BT 600), 2 (CPP 600), 3 (CPP 700), 4 (CPP 800), 5 (CPP 900), 6 (CCP 700), 7 (CCP 600), 8 (CCP 800), 9 (CCP 900), 10 (CCJ 900), 11 (CCJ 700) e 12 (CCJ 800).	49
Figura 17 - Remoção do corante VB na concentração de 300 mg/L com 0,5 g dos carvões em diferentes temperaturas de carbonização.....	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais descobrimentos de corantes desde a Malveína.....	18
Tabela 2 - Características químicas dos diferentes corantes têxteis.....	19
Tabela 3 - As principais diferenças entre uma adsorção química e física.....	25
Tabela 4 - Efeitos da variação de temperatura no rendimento da queima das biomassas por 2 h para massa inicial de 50 g.....	41
Tabela 5 - Remoção do corante VB na concentração de 500 mg/L com 0,5 g dos carvões em diferentes temperaturas de carbonização.....	50
Tabela 6 - Estudo da capacidade adsortiva dos carvões (CCP700), (CCJ800) e (CPP700) em função da variação de massa de adsorvente na granulometria de 325 mesh, 150 rpm, 25 °C e 300 mg L ⁻¹ de VB.....	52
Tabela 7 - Comparação da capacidade adsortiva em função do pH dos adsorventes (CCP700), (CCJ800) e (CPP700), com granulometria 325 mesh, 150 rpm, 25 °C e usando 0,2 g de adsorvente.....	53

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACOES

AY 17	Corante têxtil amarelo cido 17
BT 600	Carvão do brao de buriti a 600 °C
CA	Carvão ativado
CCJ 600	Carvão de caroço de caj a 600 °C
CCJ 700	Carvão de caroço de caj a 700 °C
CCJ 800	Carvão de caroço de caj a 800 °C
CCJ 900	Carvão de caroço de caj a 900 °C
CCP 600	Carvão da casca de cupuaçu a 600 °C
CCP 700	Carvão da casca de cupuaçu a 700 °C
CCP 800	Carvão da casca de cupuaçu a 800 °C
CCP 900	Carvão da casca de cupuaçu a 900 °C
CPP 600	Carvão do cacho de pupunha a 600 °C
CPP 700	Carvão do cacho de pupunha a 700 °C
CPP 800	Carvão do cacho de pupunha a 800 °C
CPP 900	Carvão do cacho de pupunha a 900 °C
FTIR	Espectroscopia Vibracional na Região do Infravermelho
UV-VIS	Espectroscopia no Ultravioleta Visível
VB	Corante têxtil verde brilhante

LISTA DE SÍMBOLOS

λ_{\max}	Comprimento de onda máximo
R%	Rendimento
m_f	Massa de carvão ativado produzido
m_i	Massa do precursor

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVOS	17
2.1 Objetivo Geral	17
2.2 Objetivos Específicos	17
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1 Corantes	18
3.2 Impactos ambientais dos corantes	21
3.3 Corante Têxtil Amarelo Ácido 17	22
3.4 Corante Têxtil Verde Brilhante	23
3.5 Técnicas de purificação de efluentes	24
3.6 Adsorção	24
3.6.1 Adsorção química	25
3.6.2 Adsorção física	26
3.7 Adsorventes	26
3.7.1 Carvão Ativado	27
3.7.2 Uso de resíduos de biomassas	28
3.7.3 Cupuaçu	30
3.7.4 Buriti	31
3.7.5 Pupunha	33
3.7.6 Cajá	34
4 MATERIAL E MÉTODOS	36
4.1 Fluxograma dos métodos experimentais e materiais utilizados	36
4.2 Carbonização dos materiais	37
4.3 Caracterização dos adsorventes	37
4.3.1 Espectroscopia vibracional na região do infravermelho (FTIR)	37
4.4 Medidas de Adsorção	38
4.4.1 Curva Analítica	38
4.4.2 Efeito da temperatura de carbonização no processo de adsorção	38
4.4.3 Efeitos da dosagem e do pH no processo de adsorção	39
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	40

5.1 Carbonizações das biomassas do caroço de cajá, casca de cupuaçu, cacho de pupunha e braço de buriti.	40
5.2 Caracterização dos materiais <i>in natura</i> e carbonizado	42
5.2.1 Espectroscopia vibracional na região do infravermelho (FTIR)	42
5.3 Curva de calibração para o corante têxtil aniônico amarelo ácido 17	43
5.4 Medidas de adsorção para o corante têxtil aniônico amarelo ácido 17	44
5.5 Curva de calibração para o corante têxtil catiônico verde brilhante	48
5.6 Medidas de adsorção para o corante têxtil catiônico verde brilhante	48
5.8 Estudo comparativo da adsorção do (CCP700), (CCJ800) e (CPP700) em função do pH.....	53
5.9 Estudo comparativo da adsorção do VB com uso dos carvões produzidos neste trabalho e com um carvão ativado comercial.	54
6 CONCLUSÃO.....	56
7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	57
REFERÊNCIAS	58

1 INTRODUÇÃO

A região amazônica é caracterizada por grande diversidade de plantas e frutos que são utilizados em sua grande maioria como alimentos por meio das atividades relacionadas à agricultura e ao extrativismo vegetal. Contudo, estes procedimentos geram quantidades elevadas de resíduos que na maioria das vezes não possuem destinação adequada. Assim, é imprescindível o desenvolvimento de métodos que possam agregar valores a estes resíduos e, por conseguinte um melhor aproveitamento dessas biomassas, que podem ser aplicadas como fontes de energia renovável, biocarvões para remediação de poluentes, tais como metais pesados, substâncias orgânicas como fármacos e corantes, entre outras.

Em virtude disso, a utilização de matérias orgânicas vem sendo empregada com frequência na região amazônica na produção de carvão ativado que são utilizados para a remoção de fontes poluidoras (CARVALHO et al., 2010). Apesar do Brasil assumir a quinta posição no ranking mundial da indústria têxtil e ser o quarto no ramo de vestuário, o uso de corantes utilizados na linha de produção quando descartados de forma incorreta nos cursos d'água são considerados fontes altamente poluidoras, visto que, esses compostos apresentam propriedades físicas e químicas que são extremamente prejudiciais ao meio ambiente e aos seres humanos (XAVIER, 2020; CAVALCANTI; SANTOS, 2020).

Dentre os métodos que podem ser empregados para a remoção desses efluentes, o uso do carvão ativado vem sendo altamente empregado no processo de adsorção, já que, a maioria dos processos tradicionais (coagulação, flotação, decantação, filtração e desinfecção) não são considerados totalmente eficientes para a remoção de coloração (KIELING, 2016). A adsorção é a transferência de massa existentes em determinados fluidos gasosos ou líquidos para superfície de adsorventes sólidos com partículas porosas, possibilitando a separação dos componentes desses fluidos, ademais, se a força de interação adsorvente/adsorvato for fraca denomina-se adsorção física e se a ligação adsorvente/adsorvato for intensa, haverá troca ou partilha de elétrons, neste caso, a adsorção é química (NASCIMENTO, et al., 2020).

Vale salientar que o uso desses adsorventes, provenientes de matérias orgânicas utilizadas no processo de adsorção é considerado de baixo custo, apresentam alta porosidade e, além disso, são materiais que possuem alta disponibilidade, o que não ocorre com maioria dos adsorventes utilizados atualmente no mercado. Souza e Silva (2021), por exemplo, usam os resíduos (ouriço e casca da semente) da castanha do Brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.B) como potencial energético para a produção de carvão ativado, que foi utilizado para a remoção do corante têxtil azul de metileno.

Diante do exposto, o respectivo trabalho tem como objetivos sintetizar adsorventes a partir das biomassas do caroço de cajá, casca de cupuaçu, cacho de pupunha e braço de buriti (pecíolos das folhas), e avaliar a capacidade adsortiva para os corantes têxteis: amarelo ácido 17 e verde brilhante em meio aquoso.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Sintetizar e avaliar o potencial adsorptivo dos carvões ativados obtidos a partir dos resíduos vegetais do bioma amazônico, cacho de pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth), caroço de cajá (*Spondias mombin* L.), casca de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) e braço de buriti (*Mauritia vinifera*), visando a remediação de contaminantes em efluentes aquosos.

2.2 Objetivos Específicos

- a) Realizar a síntese dos carvões obtidos a partir do caroço de cajá, casca de cupuaçu, cacho de pupunha e braço de buriti (pecíolos das folhas) em diferentes temperaturas de carbonização;
- b) Realizar a caracterização dos materiais *in natura* e carbonizados por espectroscopia vibracional na região do infravermelho (FTIR);
- c) Estudar a capacidade adsorptiva dos materiais para os corantes têxteis: amarelo ácido 17 e verde brilhante por meio da espectroscopia no UV-VIS;
- d) Otimizar os parâmetros de adsorção, tais como, pH, quantidade de adsorvente no meio e concentração do adsorvato para os materiais de maior capacidade adsorptiva;
- e) Avaliar o efeito da carga dos adsorvatos no processo de adsorção.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Corantes

A utilização de corantes é muito ampla, sendo empregados em diferentes setores, tais como a indústria têxtil, alimentícia, farmácia, papel, entre outras, e estão presentes na maioria dos ambientes da sociedade moderna. Conforme verificado por Salem (2010), os corantes são substâncias ou misturas orgânicas bastante resistentes à luz e a tratamentos úmidos, que tem função de conferir coloração aos materiais (ZANONI & GUARATINI, 1999). Sob essa ótica, ganha bastante relevância o uso dessas substâncias no tingimento de objetos, principalmente na indústria têxtil.

Segundo Geada (2006), a utilização dos corantes é muito antiga, sendo de origem animal, vegetal e mineral, e seu uso era basicamente para decorar objetos, armas, utensílios e pintura corporal. A utilização de corantes naturais teve seu primeiro relato na China há mais de 2600 a.C. (ARAÚJO, 2012). A maioria desses corantes eram obtidos de flores, sementes, bagas, frutos, cascas, madeiras e raízes de plantas (SILVA, 2015). Havia um grande problema com a utilização desses materiais, pois eles possuíam cores pouco resistentes à lavagem e luz (ARAÚJO, 2006).

Com a revolução industrial houve um crescimento muito grande não só da operação de máquinas, como também da utilização de corantes artificiais. Os primeiros corantes foram produzidos por volta de 1850 a partir de misturas de substâncias químicas, e marcaram o início de pesquisas e inovações que se prolongaram até o século XX. Neste contexto, em 1856 o primeiro corante de síntese foi descoberto pelo químico inglês Perkin; e em 1902 já eram cerca de 700 corantes sintéticos produzidos artificialmente (PEZOLLO, 2021). A Tabela 1 mostra as principais descobertas desde a produção da Malveína feita por Perkin.

Tabela 1 - Principais descobrimentos de corantes desde a Malveína

Ano	Ocorrência
1856	Síntese de malveína (Perkin)
1858	Reação de diazotação (Griess)
1859	Síntese da magenta (Verguin)
1862	Reação de sulfonação (Nicholson)
1873	1º corante sulfuroso (Croissant e Brentoniere)
1876	Síntese de crisoidina: 1º corante azo

1880	Síntese da alizarina
1880	1º corante azóico (Thomas e Robert Holliday)
1884	1º corante direto: vermelho congo
1894	Síntese do índigo
1901	1º corante à tina
1922	Corantes indigosais (tina pré-reduzidas)
1924	Corantes dispersos
1935	Corantes de ftalocianina
1956	Corantes reativos: DCT
1960	Corantes catiônicos modificados

Fonte: adaptado de Salem (2010).

Os corantes são caracterizados por apresentarem algumas propriedades, como cor intensa, afinidade (substantividade ou reatividade), solubilidade permanente ou temporária ou dispersabilidade, difundibilidade e solidez. Eles possuem também grupos químicos característicos, como: grupos cromóforos, que são responsáveis pela cor, tais como, carbonila, nitroso, nitro e azo; e grupos auxocromos, que estão associados por intensificar as cores e proporcionam qualidades tintoriais. Os principais grupos auxocromos são amino (NH_2), amino substituído (NHR) ou (NR_2), carboxílicos (COOH), hidroxílicos (OH) e sulfonato (SO_3^-). Essas propriedades tornam os corantes uma classe de substâncias com uma vasta área de estudo e aplicação (SALEM, 2010). A Tabela 2 mostra as características químicas de diferentes corantes.

Tabela 2 - Características químicas dos diferentes corantes têxteis

Tipos de corantes	Características
Corantes ácidos	<ul style="list-style-type: none"> • São corantes aniônicos com um a três grupos sulfônicos ionizáveis, são solúveis em água; • Substâncias baseadas em compostos azo, antraquinona, triarilmetano, azina, xanteno, cetanimina, nitro e nitroso.
Corantes básicos	<ul style="list-style-type: none"> • Corantes catiônico, possuem carga positiva (que pode ser localizada ou deslocalizada) em sua molécula; • A interação com fibras ocorre por meio de ligações iônicas entre o cátion da molécula do corante e os sítios aniônicos presentes

nas folhas. Apresentam grupos funcionais catiônicos $-NR_3^+$ ou $=NR_2^+$.

- | | |
|--------------------------|---|
| Corantes dispersivos | <ul style="list-style-type: none"> ● Insolúveis em água; ● Utilizados no tingimento de fibras sintéticas, como acetato de celulose, nylon, poliéster e poliacrilonitrila. |
| Corantes reativos | <ul style="list-style-type: none"> ● Apresentam um grupo eletrofílico (reativo); ● Forma ligações covalentes com grupos hidroxila das fibras celulósicas; ● Apresentam grupos sulfônicos ou clorotriazina. |
| Corantes enxofre de | <ul style="list-style-type: none"> ● São insolúveis em água; ● Compostos macromoleculares com pontes de polissulfetos. |
| Corantes diretos | <ul style="list-style-type: none"> ● Compostos solúveis em água; ● Corantes contendo mais de um grupo azo (diazó, triazo) ou pré-transformados em complexos metálicos. |
| Corantes azóicos | <ul style="list-style-type: none"> ● Compostos coloridos e insolúveis em água, que são sintetizados sobre a fibra durante o processo de tingimento. ● No processo de tingimento usa-se o agente de acoplamento (e.g. naftol) que apresenta alta afinidade por celulose. |
| Corantes a cuba | <ul style="list-style-type: none"> ● Classe de corantes baseada nos índigos, tioindigóides e antraquinóides; insolúveis em água; em processos de tintura são reduzidos com ditionito, em solução alcalina transforma-se em um composto solúvel (forma leuco). |
| Corantes pré-metalizados | <ul style="list-style-type: none"> ● Identificados pela presença de um grupo carboxila ou hidroxila localizado na posição orto em relação ao cromóforo azo. Forma complexos com íons metálicos; |

- Corantes
branqueadores
- Usado em fibras têxteis no estado bruto por serem compostos primariamente orgânicos apresentam aparência amarelada por absorverem luz particularmente na faixa de baixo comprimento de onda.

Fonte: Adaptado de Zanoni (1999).

3.2 Impactos ambientais dos corantes

Segundo Alves et al. (2021) a indústria têxtil é de grande importância para a economia e desenvolvimento do Brasil empregando cerca 1,6 milhão de pessoas. No entanto, graves problemas ambientais estão associados a este setor, como o alto consumo de água durante o processo de tinturaria e o descarte irregular dos efluentes produzidos (OLIVEIRA & LEÃO, 2009). Muitos desses efluentes vêm acompanhados de corantes (10 a 15%), grande quantidade de material orgânico e outras fontes poluidoras.

O mais preocupante, contudo, é constatar que os efluentes produzidos pela indústria têxtil impedem a passagem de luz no meio aquático e com isso retardam o processo de fotossíntese (LALNUNHLIMI; KRISHNASWAMY, 2016). Não é exagero afirmar que algumas classes de corantes podem causar irritação na pele, nas vias aéreas e quando ingeridas podem gerar substâncias com propriedade carcinogênicas e mutagênicas (BAZZO, 2015). Neste contexto, fica claro que o setor é o grande responsável por produzir efluentes têxteis. Por isso tem se tornado cada vez mais importante o desenvolvimento de novas técnicas que possam apresentar eficiência e baixo custo no tratamento de água e efluentes (HYNES, 2020).

De acordo com Bastian & Rocco (2009, p. 21):

A implementação de leis e normas ambientais cada vez mais restritivas e a criação de mercados mais competitivos vêm exigindo que as empresas sejam mais eficientes do ponto de vista produtivo e ambiental. O aumento da produção industrial deverá ser aliado a um menor gasto de insumos e geração de poluentes.

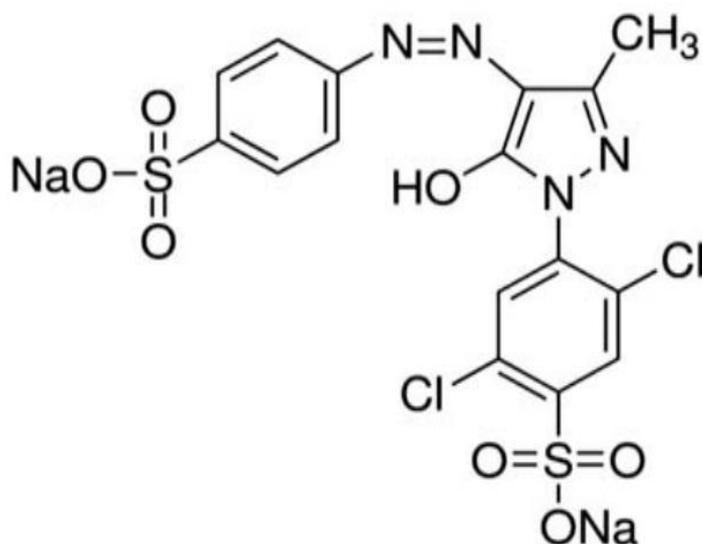
O estudo dos impactos ambientais causados pelos corantes é dificultado devido às composições dos efluentes têxteis variarem de acordo com seus processos produtivos, sendo os principais geradores de substratos com concentrações de matéria orgânica poluente os setores de tinturaria, estampanaria e engomagem/desengomagem. Devido à diversidade de composição e características específicas dos efluentes líquidos é necessário tratamento

também específicos para que as empresas consigam atender a legislação ambiental (BASTIAN & ROCCO, 2009).

3.3 Corante Têxtil Amarelo Ácido 17

De acordo com Lopes (2020) o dissódico, 2,5-dicloro-4-[3-metil-5-oxo-4-(4-sulfonatofenil)diazenil-4H-pirazol-1-il]benzenossulfonato, é o nome oficial na IUPAC (em inglês *Union of Pured and Applied Chemistry*) do corante têxtil amarelo ácido 17. Ele possui fórmula molecular $C_{18}H_{10}Cl_2N_4Na_2O_7S_2$ e massa molecular $551,29 \text{ g mol}^{-1}$ e a sua fórmula estrutural é mostrado na Figura 1. Há em sua estrutura o grupo cromóforo (-N=N-), sendo, portanto, classificado como um azo-corante. Quando dissolvido em água libera uma coloração amarelo intensa, sendo usada no tingimento de uma variedade de tecidos e produtos domésticos como xampu, banho de espuma, gel de banho, sabonete líquido, lava louças, perfumes líquidos e base de álcool (LACKEY et al., 2006).

Figura 1 - Fórmula estrutural do corante têxtil amarelo ácido 17



Fonte: Ashrsf et al, 2012

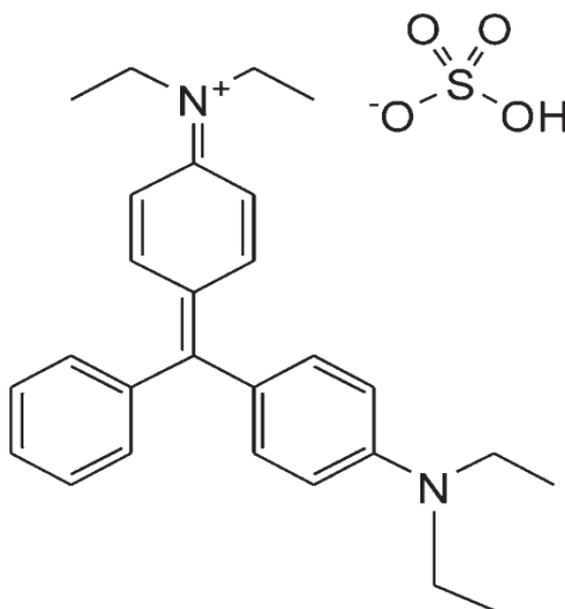
O corante têxtil amarelo ácido 17 (AY 17) é um corante aniônico reativo, bastante empregado na indústria têxtil, gráfica e cosmética, bem como no processo de produção de sabão e detergente. O AY 17 pode causar dispneia, dermatite e irritação nos olhos, no sistema cardiovascular e no sistema nervoso do ser humano e organismos vivos. Similarmente, esse corante tem efeitos mutagênicos e tumorigênicos em bactérias, leveduras e em células

somáticas de mamíferos, podendo afetar o material genético, e ocasionar problemas na reprodução e crescimento desses seres (ASHRSF et al., 2012).

3.4 Corante Têxtil Verde Brilhante

O corante têxtil verde brilhante (VB) é um corante básico de coloração verde, é geralmente encontrado na forma de sulfato, possui fórmula molecular $C_{27}H_{34}N_2O_4S$, peso molecular igual a 482,64 g/mol e o comprimento de onda máximo ($\lambda_{m\acute{a}x}$) para esse corante é 625 nm (LTIFI et al., 2017). É um corante orgânico que pertence à família dos trifenilmetano, ele é muito utilizado no tingimento de seda e lã devido a sua grande aplicação para a coloração de fibras têxteis (CALVETE et al., 2010). A Figura 2 mostra a fórmula estrutural do corante Verde Brilhante.

Figura 2 - Fórmula estrutural do corante têxtil verde brilhante



Fonte: Calvet et al, 2010

O corante Verde Brilhante é muito utilizado como agente dermatológico, medicamento veterinário e medicamento para a alimentação de aves para inibir a propagação de fungos e parasitas intestinais, tingimento de têxteis, etc. Mesmo com tantas aplicações, esse corante pode apresentar diversos problemas para o homem e também para o meio ambiente, causando náuseas, vômitos, diarreia, irritação no trato gastrointestinal e respiratório

e durante sua degradação produz óxidos de carbono, óxidos de nitrogênio e óxidos de enxofre (KUMAR & BARAKAT, 2013).

3.5 Técnicas de purificação de efluentes

Segundo a Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção - ABIT (2022), a indústria têxtil e de confecção destacam-se no cenário mundial, com um faturamento de R\$ 161 bilhões e a produção média têxtil chegou a 1,91 milhões de toneladas. Para se ter uma noção da quantidade de efluentes que são descartados por esse setor, a cada tonelada de produtos têxteis produzidos, são consumidos um total de 200 a 270 toneladas de água (ou 200 a 270 metros cúbicos), aproximadamente (BARROS, 2022).

Para o tratamento de águas residuais, métodos avançados de tratamentos não destrutivos estão sendo usados com frequência, como filtração por membrana cerâmica, nanofotocatálise acoplada à filtração por cerâmica, métodos químicos e biológicos que inclui a aplicação de biofilmes (DONKADOKULA et al., 2020). Para a remoção de material particulado destacam-se as técnicas de coagulação, flotação e sedimentação, porém, essas técnicas não são tão eficientes para a remoção de cor e compostos orgânicos. Neste sentido, o processo de adsorção com carvão ativado para a remoção desses dois últimos efluentes tem ganhado destaque. Já os sistemas destrutivos mais utilizados são degradação eletroquímica e degradação fotoquímica (KUNZ et al., 2002).

3.6 Adsorção

Conforme Nascimento et al. (2014), existe uma ampla quantidade de poluentes orgânicos e inorgânicos que contaminam quimicamente a água, por esse motivo desencadeou-se a necessidade de desenvolver novas tecnologias para remoção desses poluentes. Essas substâncias geralmente oferecem resistência a métodos de degradação biológica ou os métodos de tratamento físico-químicos não os removem com eficiência. Neste contexto, a adsorção se tornou um dos métodos mais populares no processo de separação e purificação nas últimas décadas.

Pode-se conceituar a adsorção como sendo um processo de acumulação da fase fluida, no estado gasoso ou líquido, em uma interface de um sólido. Portanto, a adsorção é essencialmente um efeito de superfície e deve ser diferenciada da absorção que certamente se

trata da penetração da fase fluida de componentes no estado gasoso ou líquido no corpo de um sólido (FLORENCE & ATTWOOD, 2003).

De acordo com Nascimento et al. (2014. p. 14):

Os processos de separação por adsorção estão baseados em três mecanismos distintos: o mecanismo estérico, os mecanismos de equilíbrio e os mecanismos cinéticos. [...] Dependendo da natureza das forças envolvidas, a adsorção pode ser classificada quanto a sua intensidade em dois tipos: adsorção física e adsorção química.

Os dois processos de adsorção citados acima possuem características específicas, conforme mostrado na Tabela 3.

Tabela 3 - As principais diferenças entre uma adsorção química e física

Adsorção química	Adsorção física
<ul style="list-style-type: none"> ● Natureza química do adsorvato é alterada; ● Depende da energia de ativação; ● Apresenta monocamada de moléculas adsorvidas; ● Adsorção localizada ● Altamente específica; ● Quase sempre irreversível; ● Alto calor de adsorção; ● Por transferência de elétrons; ● Por ligações covalentes, iônicas e forças eletrostáticas; 	<ul style="list-style-type: none"> ● Natureza química do adsorvato não é alterada; ● É rápida; ● Várias camadas de moléculas adsorvidas; ● Adsorção não localizada ● Não específica; ● Quase sempre reversível; ● Baixo calor de adsorção; ● Sem transferência de elétron; ● Por força de Van de Waals;

Fonte: Adaptado de Nascimento (2014).

3.6.1 Adsorção química

Pode-se conceituar a adsorção química ou quimissorção como sendo uma interação química existente entre as moléculas da parte fluida (adsorvato) com o adsorvente (superfície do sólido), que está associada a formação de uma ligação química. Neste processo, o calor liberado é da mesma ordem de uma reação química, e na maioria das vezes superior a 80

kJ/mol. A quimissorção é específica, pois a interação adsorvente-adsorvato é muito forte e altamente específica (VAZOLLER, 2019).

Visto que a natureza da adsorção depende da força de ligação existente entre a molécula adsorvida e a superfície, pode-se dizer que se ocorrer uma forte ligação entre a molécula adsorvida e a superfície do adsorvente a ligação é direta, ou seja, ocorre interação entre os elétrons da molécula e do sólido. Com isso, há uma mudança na estrutura da molécula (SCHMAL, 2012).

3.6.2 Adsorção física

A adsorção física é um processo reversível e exotérmico. Esse processo de adsorção ocorre geralmente em multicamadas, a energia envolvida é pequena e geralmente não é superior que a energia de condensação do próprio adsorvente (BRESCIA; VASCONCELOS, 2022).

Segundo Netz e Ortega (2008), a energia de adsorção nos processos de fisissorção é muito menor que no processo de quimissorção, isso está intimamente ligado às forças de interações existentes entre o adsorvente e adsorvato. Na adsorção física a interação existente é de forças de Wan Der Walls, enquanto na adsorção química a magnitude da força é da mesma grandeza que é verificada em uma reação química.

3.7 Adsorventes

Com o avanço tecnológico e industrial, ocorre também o aumento de impactos ambientais. A grande quantidade de efluentes descartados de forma irregular nos recursos hídricos requer o desenvolvimento de técnicas eficientes para a sua descontaminação. Por isso, os materiais adsorventes têm se tornado uma alternativa viável, pois apresentam grande capacidade de adsorção, são abundantes e, além disso, apresentam baixo custo de produção (PITUBA; STOPPA; COSTA, 2018).

De acordo com Souza (2016), a natureza da composição química dos adsorventes, a área superficial, a distribuição dos poros e o tamanho das partículas são os responsáveis pela eficiência adsorvativa dos materiais. O carbono ativado, a sílica gel, a alumina ativada (óxido de alumina) e os zeólitos (filtros moleculares) são os adsorventes mais comuns utilizados industrialmente.

De acordo com IUPAC os materiais adsorventes podem ser classificados em três tipos de acordo com tamanhos dos poros (diâmetro d_p). Os materiais microporosos apresentam $d_p < 20$ nm; e os mesoporosos possuem d_p na faixa de 20 nm a 500 nm, enquanto matérias com d_p superior a 500 nm são classificados como macroporosos.

Sabe-se que o elevado grau de porosidade dentro dos grânulos adsorventes influencia diretamente na capacidade adsorptiva dos materiais, devido ao aumento da área superficial. Vale ressaltar que, a porosidade dos adsorventes geralmente não ultrapassa 50%, isso se deve a sua fabricação e a resistência do esqueleto do adsorvente (HOWE et al., 2016).

Segundo Howe et al. (2016. p. 340):

A porosidade de adsorventes geralmente não excede 50% por causa do processo de fabricação e da resistência do esqueleto do adsorvente. Se a porosidade é mais elevada, o adsorvente torna-se frágil e quebra quando transportado para dentro e para fora dos vasos de adsorção, o que pode resultar em perdas significativas de adsorvente e gastos financeiros.

Para um material ser considerado um bom adsorvente é preciso levar em consideração os fatores apresentados acima, bem como o custo de fabricação. Pode-se destacar o carvão ativado como o adsorvente mais utilizado, pois ele é menos caro que outros adsorventes e possui alta eficiência na remoção de vários tipos de contaminantes.

3.7.1 Carvão Ativado

O carvão ativado ou carbono ativo (CA) é um dos adsorventes mais amplamente utilizados industrialmente, seu uso é bastante frequente devido possuir características que se adequam muito bem ao processo de adsorção. Ele geralmente possui uma grande área superficial e é composto por uma estrutura microporosa homogênea. Por isso, vários materiais orgânicos são usados para a sua produção (MENEHINI et al., 2021).

O carvão ativado é um material que pode ser obtido de vários precursores orgânicos, sua estrutura possui uma vasta área superficial capaz de acomodar grande variedade de substâncias com grupos funcionais diversos. É possível fazer a modificação da estrutura do carvão ativado através de vários tipos de tratamentos, tais como tratamento químico e físico. Assim, os processos de adsorção de materiais orgânicos com CA podem ser melhorados ajustando as interações químicas e físicas existentes entre adsorvente e adsorvato (GORGULHO et al., 2006).

3.7.2 Uso de resíduos de biomassas

A produção de carvão ativado a partir de materiais orgânicos tem crescido bastante, uma vez que o carvão ativado obtido de origem mineral é caro. Vários trabalhos recentes mostram a importância de carvão ativado para a remoção de corantes utilizando diferentes fontes orgânicas para a produção dessa classe de adsorventes. Conforme mostrado por Heylmann et al. (2021), que usam carvão ativado a partir de caroço de pêssigo para a adsorção de corantes têxteis. Os resultados deste trabalho foram satisfatórios, alcançando índice superior a 93% de remoção para o corante AM e 60% na remoção do corante PR5.

Morais et al. (2019), usa o carvão ativado a partir de *Eucalyptus dunnii* para adsorver o corante azul de metileno, esse estudo exibe que o carvão apresentou uma capacidade máxima de adsorção igual a 293,30 mg/g. O trabalho de Scher (2021), aborda a utilização de carvão ativado de biomassa vegetal da casca de arroz para a adsorção do corante vermelho de congo. Os parâmetros termodinâmicos apontaram para o fenômeno de adsorção física em monocamada, com capacidade máxima de adsorção de aproximadamente 160 mg/g.

Outro trabalho que usa carvão ativado para a remoção do corante azul de metileno é o de Silva et al. (2018), no qual, foi utilizado a palha de azevém (*Lolium mutiflorum* Lan) como biomassa precursora para a produção do adsorvente. A capacidade máxima de adsorção foi de 25,73 mg/g obtida pelo modelo de Sips. Outrossim, é que com 0,5 g de carvão foi possível adsorver 99,36% e 80,04% de corante para as concentrações de 50 e 500 mg/L, respectivamente.

A adsorção de corantes com carvão ativado granular (CAG) também tem sido recorrente para tratamentos de efluentes, o trabalho de Dávila; Nunes; Féris (2019) utiliza o CAG para a remoção do corante catiônico violeta cristal. A porcentagem máxima de remoção do corante na concentração de 100 mg/L com a utilização de 2,0 g de carvão foi de 89% e o modelo matemático que melhor descreveu os dados experimentais para o estudo de equilíbrio de adsorção foi o de Freundlich.

Outro precursor que está sendo muito utilizado para a produção de carvão ativado é o babaçu (*Attalea spiciosa*), em seu trabalho, Pires (2021) utiliza o epicarpo de babaçu para a produção de ecocarvão que foi utilizado para adsorver os corantes azul de metileno e amarelo tartrazina. Os resultados obtidos mostraram-se muito eficientes para o azul de metileno com remoção de 99,6% (m/m), enquanto que para o amarelo tartrazina houve pouca remoção, com apenas 47,6% (m/m). Segundo o autor, a diferença na remoção é devido ao tamanho dos

corantes, sendo o amarelo tartrazina o maior com 534,26 g/mol e azul de metileno com 319,85 g/mol.

Em seu trabalho, Ribas; Lima; Féris (2019) utilizam o caroço de pêssgo para remover corantes têxteis, os autores simularam dois efluentes (A e B) contaminados com vários corantes, a remoção desses poluentes foi muito significativa, pois a redução da concentração dos efluentes (A e B) alcançaram valores de 94,7% e 88,4%, respectivamente. O estudo também mostra que o pH da solução do corante têxtil Vermelho de Procione MX-5B influencia no processo de adsorção, pois em pH 2 houve remoção máxima de 84,6% para esse corante, enquanto que no pH 10 a remoção obtida foi 64,4%.

O endocarpo de coco (*Coccus nucifera L.*) é mais um precursor usado na produção de carvão ativado para a adsorção de efluentes têxteis. Lucena (2018) investiga a eficiência adsorptiva sobre a remoção de cor verdadeira e da Demanda Química de Oxigênio (DQO) de efluente têxtil real e sintético, contendo o corante tetra-azo Direct Black 22. Os resultados de eficiência média de remoção de cor verdadeira no efluente têxtil real e sintético foi 96% e 98%, e para a DQO de 68% e 66%, respectivamente.

A utilização de biocarvão do sabugo de milho ativado com ácido fosfórico para a remoção do herbicida glifosato – (formulação comercial) em meio aquoso, é mais um exemplo da utilização de fonte orgânica para a produção de carvão ativado (MARCELINO; CUBA; TERAN, 2021).

Souza e Silva (2021), usam os resíduos (ouriço e casca da semente) da castanha do Brasil (*Bertholletia excelsa H.B.B*) como potencial energético para a produção de carvão ativado. O carvão ativado foi usado para a remoção do corante azul de metileno, os resultados dos ensaios de adsorção deste corante se mostraram muito satisfatórios e com grande eficiência, pois segundo os autores a remoção do adsorbato é rápida e o tempo de equilíbrio ocorre em um período curto.

Outro trabalho usando o endocarpo da castanha-do-Pará (*Bertholletia excelsa*) foi desenvolvido por Gonçalves e Carvalho (2019), o carvão foi ativado com cloreto de zinco ($ZnCl_2$), em seguida foram realizados ensaios de adsorção para a remoção do corante sintético amarelo ácido 17. Alguns parâmetros como temperatura, pH e velocidade de rotação (rpm) foram otimizados visando o aumento da capacidade adsorptiva. Santos et al. (2019), verificam a redução na turbidez e coloração da água usando filtro alternativo construído a partir de caroço de castanha-do-Pará.

A utilização dos resíduos de biomassas tem se tornado muito utilizada na produção de carvão ativado. Os trabalhos recentes citados acima expõem a importância dessas matérias-

primas que são de grande importância econômica para diversas regiões do Brasil. O desenvolvimento e aperfeiçoamento dessa tecnologia pode proporcionar uma melhor destinação desses resíduos que por muitas vezes são descartados de forma irregular no ambiente, gerando assim, mais lixo e poluição.

3.7.3 Cupuaçu

O cupuaçu é o fruto do cupuaçuzeiro, planta que pertence à família *Malvacea*, a qual a denominação binominal é *Theobroma grandiflorum* (Willd ex Spreng) Schum, esse é um dos frutos típicos mais importantes encontrados na flora amazônica, o seu sabor e cheiro são bem característicos e dificilmente são confundidos com outras frutas. A sua polpa é utilizada no preparo de sucos, geleias, doces, sorvetes, licores, cremes etc. (FERREIRA; SANTOS; BRAGADO, 2009).

Na região amazônica é possível encontrar tanto cupuaçuzeiro (Figura 3) nativo como plantios racionais. Geralmente as árvores nativas apresentam alturas próximas ou maiores que 20 m, enquanto que as árvores racionais apresentam uma forma copada e altura bem reduzidas (HOMMA, 2014).

Figura 3 – Imagem do cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum*)



Fonte: Autor, 2022

O cupuaçu tem grande aproveitamento agroindustrial, sua polpa como já mencionado tem grande aplicação na área alimentícia. O seu caroço é muito utilizado na produção de chocolate, ou melhor, na produção do “cupulate”. A casa do cupuaçu (Figura 4), por sua vez, é utilizada como composto orgânico, alimentação animal ou mesmo humana e também na produção de energia (CHAVES, 2022).

Figura 4 – Imagem da casca de cupuaçu



Fonte: autor, 2022

A produção de energia e outras tecnologias a partir da casca do cupuaçu tendem a se tornar uma alternativa para um melhor aproveitamento desses materiais, pois muitas vezes o descarte é feito de forma desordenada, gerando mais poluentes para o meio ambiente. A produção de carvão ativado a partir dessa matéria-prima pode ser uma alternativa de renda e de uso desses resíduos que vem crescendo cada vez mais na Amazônia.

3.7.4 Buriti

O buritizeiro (Figura 5) (*Mauritia vinifera*) é uma espécie de palmeira que pode atingir até 40 metros de altura. Essa palmeira pode ser encontrada nas veredas e nas matas de brejos do Distrito Federal, dos estados da Bahia, Ceará, Goiás, Maranhão, Mato Grosso, Pará, Piauí

e São Paulo. A presença de buritizeiro é um indicativo de solo úmido e presença de nascente de pequenos cursos d'água (ALMEIDA, 1994).

Ainda em conformidade com Almeida (1994), do buriti quase tudo é aproveitado, as folhas podem ser usadas na confecção de chapéus, balaios, baús, cestos, vassouras, dentre outros adereços. As fibras são usadas na produção de redes e cordas. Já os braços do buriti (pecíolos das folhas) por serem leves e porosos, com até 5 m de comprimento são usados com muita frequência na confecção de artesanato. O fruto do buriti é utilizado na produção de cremes, doces, sorvetes e paçocas. Da polpa é possível a extração do óleo que é utilizado contra queimaduras e outros fins.

Figura 5 – Imagem do buritizeiro (*Mauritia vinifera*)



Fonte: autor, 2022

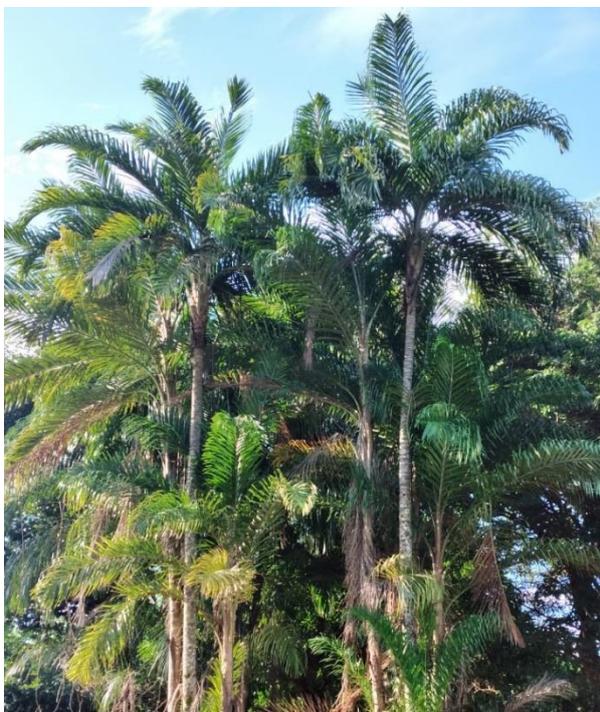
Apesar de ser possível aproveitar várias partes do buriti, a sua polpa é usada com mais frequência, pois ela apresenta muitas propriedades nutricionais favoráveis à saúde, sendo fonte de ferro, cálcio e fibras. O óleo do buriti apresenta alta capacidade antioxidante, possui altos teores de ácidos graxos monoinsaturados e contém alto teor de celulose. Geralmente os resíduos desse fruto são usados comercialmente na produção de ração para animais ou fertilizantes. A fibra e a casca do buriti são alternativas para a indústria alimentícia e farmacêutica devido ser rico em pigmentos (ROCHA & RODRIGUES, 2018).

3.7.5 Pupunha

A pupunha ou pupunheira (Figura 6) pertence à família *Arecaceae* e espécie *Bactris gasipaes* Kunth, essa palmeira pode chegar a mais de 20 m de altura, com diâmetro de 15 a 30 cm e entrenós com 1 a 30 cm de comprimento. Ela pode ser coberta de espinhos e também sem espinhos, seus cachos podem conter de 50 a 1000 frutos com massa de 1 a 25 kg. Seus frutos possuem uma coloração que varia de cor, podendo ser vermelho, laranja ou amarela. Existe uma grande variedade de pupunha, nas feiras de grandes e pequenos centros urbanos amazônicos típicos (ROCHA, 2022).

Sabe-se que o Brasil é o maior produtor e consumidor mundial de palmito, a maior parte desse produto advém da juçara (*Euterpe edulis* Mart.) e do açai (*Euterpe oleracea* Mart.), após a colheita do palmito da juçara, a árvore morre. Por isso a pupunha tem sido utilizada para esse fim com muita frequência, já que essa palmeira pode emitir brotos por pelo menos 10 anos. Outrossim, a pupunha começa a produzir palmito a partir de 18 meses (SPACKI, 2021).

Figura 6 – Imagem de pupunheiras (*Bactris gasipaes* Kunth)



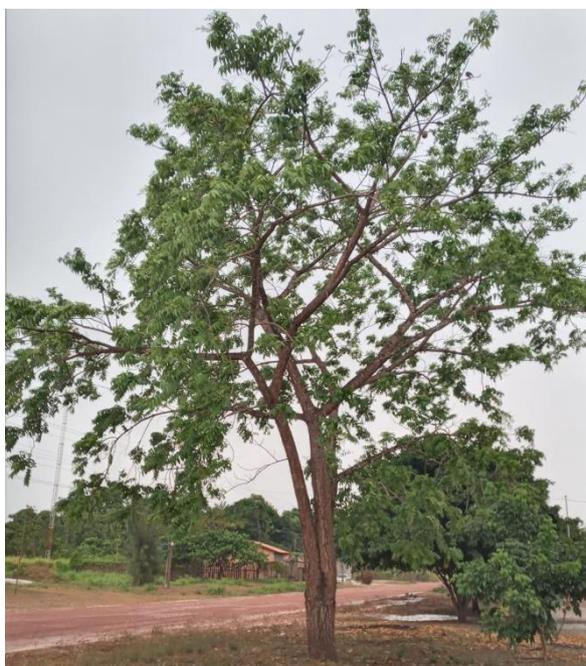
Fonte: autor, 2022

A produção de palmito é importante para o desenvolvimento econômico de algumas regiões brasileiras, porém essa cultura apresenta algumas desvantagens, pois com o cultivo do palmito, a planta é cortada e são descartados cerca de 90 a 95% como resíduos. A maior parte dessa biomassa não tem destinação e o acúmulo desse material no ambiente de trabalho acarreta ao produtor diversos problemas de manejo. Devido a esses e outros problemas ambientais, é preciso investir em estudos para a produção de energia e outras tecnologias para garantir um melhor aproveitamento desses resíduos (MAYER et al., 2020).

3.7.6 Cajá

A Cajazeira (*Spondias mombin* L.) é uma árvore (Figura 7) facilmente encontrada nas regiões norte e nordeste do Brasil. Dependendo da região onde se encontra, seu fruto é chamado por diferentes nomes, tais como, cajá, cajá verdadeiro, cajá-mirim ou taperebá. Devido ao seu sabor exótico, essa fruta tem grande aceitação pelo mercado consumidor. Geralmente a comercialização do cajá é feita através da produção de polpa que é utilizada para o processamento de sorvetes, geleias, picolés e néctares (SOARES et al., 2006).

Figura 7 – Imagem da cajazeira (*Spondias mombin* L.)



Fonte: autor, 2022

É grande a demanda por produtos oriundos de cajá, principalmente na região nordeste do país que há um aumento significativo na procura por itens derivados desta fruta. Mesmo

com a crescente necessidade desses gêneros alimentícios, o cultivo dessa planta ainda é considerado baixo, pois ainda não se tem um grande acervo de informações a respeito da produção e melhoramento da espécie. O que dificulta a implantação de grandes pomares destinados à produção em larga escala (PINTO et al., 2003).

Com a extração da polpa de cajá, o caroço (Figura 8) é em sua grande maioria descartado em lugares inadequados. Todo esse resíduo pode ser utilizado para a produção de energia e outras tecnologias capazes de reduzir os impactos ambientais e ajudar economicamente a sociedade.

Figura 8 – Imagem de caroços de cajá



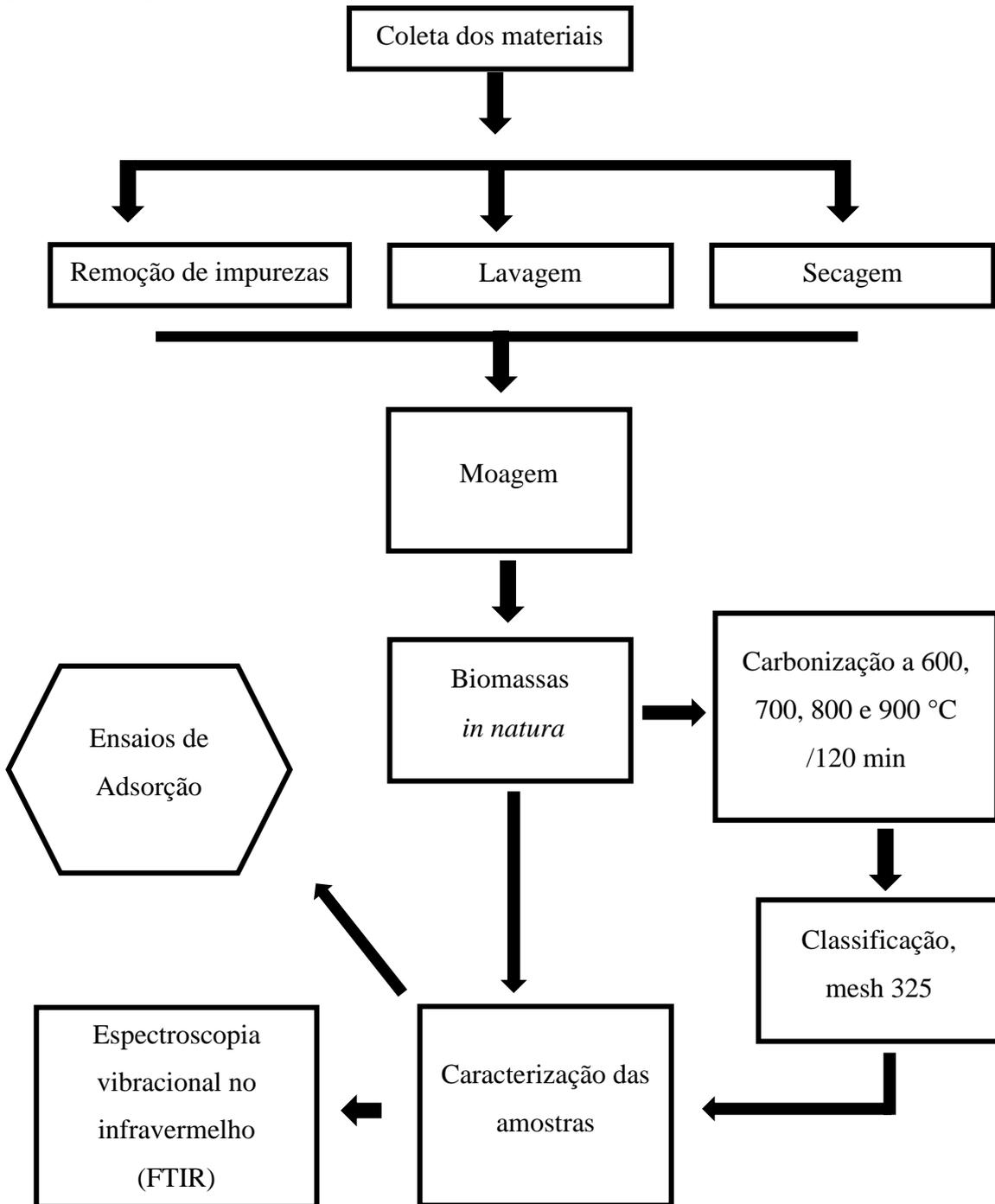
Fonte: autor, 2022

Oliveira et al. (2015) reporta o uso do caroço de cajá como precursor de material orgânico para a produção de carvão ativado para adsorção da Albumina do Soro bovino (BSA). Os resultados da capacidade adsorptiva para a BSA foi reduzida devido ao tamanho da molécula da proteína ser grande, isso dificulta a entrada nos poros do carvão. Contudo, esse carvão pode ser utilizado para separar proteínas presentes no soro do leite que possuem tamanhos menores que a BSA e também para remover diversos tipos de poluentes.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Fluxograma dos métodos experimentais e materiais utilizados

Fluxograma 1 - Metodologia usada para a obtenção, preparo, caracterização e ensaio das amostras produzidas a partir das biomassas.



Fonte: autor, 2022

Os resíduos dos materiais do caroço de cajá, casca de cupuaçu, cacho de pupunha e braço de buriti (pecíolos das folhas) foram coletados na comunidade quilombola de Bailique-centro localizada no município de Oeiras do Pará. Após a coleta, os materiais foram selecionados e lavados em água corrente para a remoção de impurezas. Posteriormente, os insumos foram secos por exposição aos raios solares, em seguida, levados para secagem na estufa a 90 °C por 24 h. Depois de isentos de impurezas, os mesmos foram triturados em um moinho de facas modelo NL-226/02 (NewLab, Brasil).

4.2 Carbonização dos materiais

Nesta etapa, os materiais originários do caroço de cajá, casca de cupuaçu, cacho de pupunha e braço de buriti (pecíolos das folhas) foram submetidos a vários ensaios de carbonização em diferentes temperaturas. Inicialmente, pesou-se 50 g de cada biomassa, que foram transferidas para os cadinhos de carvão de silício medindo 15 cm de comprimento, 8 cm de diâmetro e paredes de 1 cm de espessura e levados a um forno mufla da marca MAGNUS numa taxa de aquecimento de 10 °C/min. As carbonizações foram realizadas em triplicatas, a primeira carbonização foi realizada com temperatura máxima de 600 °C por 2 h. Repetiu-se os experimentos sob as mesmas condições mantendo o tempo de 2 h de carbonização, variando as temperaturas para 700, 800 e 900 °C para os materiais, exceto para o material oriundo do braço de buriti (pecíolos das folhas).

O rendimento da carbonização dos carvões foi calculado conforme a equação 01.

$$R\% = \frac{mf}{mi} * 100 \quad \text{Equação 01}$$

$R\%$ é o rendimento, mf é a massa do carvão ativado produzido e mi é a massa do precursor.

4.3 Caracterização dos adsorventes

4.3.1 Espectroscopia vibracional na região do infravermelho (FTIR)

Os espectros de infravermelho das amostras *in natura* e carbonizada classificadas em granulometria de 325 mesh foram obtidos utilizando o equipamento Agilent Technologies (Cary 630 FTIR) no LABORATÓRIO DE ANÁLISES QUÍMICAS na UNIFESSPA. Os espectros de FTIR foram obtidos através de registros de varreduras na região espectral de 400 a 4000 cm^{-1} . A análise foi realizada utilizando-se o acessório Reflectância Total Atenuada

(ATR) do equipamento. O tratamento dos dados foi obtido através do programa Origin, versão 9.0. Antes da coleta dos espectros, as amostras foram secas a 105 °C por 12 horas.

4.4 Medidas de Adsorção

4.4.1 Curva Analítica

Após a síntese e caracterização dos materiais, foram realizados os testes de adsorção para os corantes têxteis amarelo ácido 17 (AY 17) e verde brilhante (VB). Inicialmente foi preparado uma solução estoque padrão do corante VB na concentração de 1000 mg/L. A partir desta solução estoque foram preparadas outras soluções com volume de 1,5 mL do corante na faixa de concentração de 1,0 a 7,5 mg/L para a construção da curva de analítica (calibração). A curva analítica foi obtida a partir das leituras das absorbâncias em função da concentração com o intuito de quantificar a eficiência adsortiva dos adsorventes carbonizados nas diferentes temperaturas.

As leituras no UV-VIS foram realizadas em um espectrofotômetro da marca Bel Espectro S05, com faixa de operação de 320 a 1.000 nm, no comprimento de onda máximo, ($\lambda_{\text{máx}}$), 625 nm, para o corante verde brilhante. As amostras foram medidas numa cubeta de quartzo de 1 mL e caminho óptico de 1 cm em triplicata. Para o corante amarelo ácido 17, foram utilizados os dados experimentais realizados no trabalho de Lopes (2020), no qual a curva analítica foi construída na faixa de concentração de 0 a 22 mg/L no comprimento de onda máximo, ($\lambda_{\text{máx}}$), de 400 nm, no mesmo espectrofotômetro.

4.4.2 Efeito da temperatura de carbonização no processo de adsorção

Os ensaios de adsorção de ambos os corantes foram realizados em duplicatas para os adsorventes obtidos do caroço de cajá, casca de cupuaçu, cacho de pupunha e braço de buriti (pecíolos das folhas) sintetizados em diferentes temperaturas. Todos os carvões foram classificados em peneira com mesh passante de 325. Inicialmente preparou-se 1 litro de solução de (AY 17) na concentração de 200 mg/L e transferiu-se alíquotas de 100 mL para erlenmeyer de 250 mL, no qual foram adicionados 0,5 g de cada adsorvente. Os testes foram realizados com todos os adsorventes e nas diferentes temperaturas de síntese, com mesh passante de 325.

Na etapa seguinte, colocou-se as soluções em contato dinâmico com os adsorventes em uma mesa de agitação orbital da marca Fisatom (mod. 786 e série 2090002), sob agitação de 150 rpm e 25 °C por 200 min. Ao finalizar o experimento, o adsorvente foi separado do sobrenadante com o auxílio de uma centrífuga analógica modelo 80-2B. Depois de feita a separação, uma alíquota de sobrenadante foi reservada para a realização da leitura das absorbâncias no espectrofotômetro. Quando necessário, as alíquotas dos sobrenadantes foram diluídas, com o objetivo de obter concentrações dentro da curva padrão. Devido à alta eficiência adsorptiva os ensaios para o VB foram realizados para as concentrações de 100, 200, 300 e 500 mg/L.

O mesmo procedimento foi realizado para a solução de amarelo ácido 17 apenas para a concentração de 100 mg/L, pois a eficiência adsorptiva para este corante foi menor quando comparado ao VB. As leituras de absorbâncias para o verde brilhante foram realizadas no comprimento de onda de 625 nm.

4.4.3 Efeitos da dosagem e do pH no processo de adsorção

Nesta etapa foram selecionados apenas os materiais de melhor eficiência adsorptiva. Os ensaios de dosagem para o corante verde brilhante foram realizados a partir de massas de adsorventes na faixa de 0,1 a 1,0 g, e concentração de corante de 300 mg/L, volume da solução de 100 mL, sob agitação de 150 rpm e 25 °C por 200 min.

Numa etapa seguinte, alíquotas de 100 mL da solução do corante VB, na concentração de 300 mg/L foram transferidas para erlenmeyer de 250 mL. Em seguida, foram ajustados os valores de pH das soluções com a adição de pequenos volumes das soluções de HCl 0,1 mol/L e NaOH 0,1 mol/L sob agitação, as leituras de pH foram realizadas no equipamento MS TECNOPON instrumentação (MEDIDOR DE pH mPA-210). Dessa forma, os valores de pH das amostras foram ajustados para 3,0, 4,0, 5,0, 6,0, 7,0, 8,0, 9,0, 10,0. Nesse processo, em cada amostra foram utilizados 0,2 g de carvão ativado.

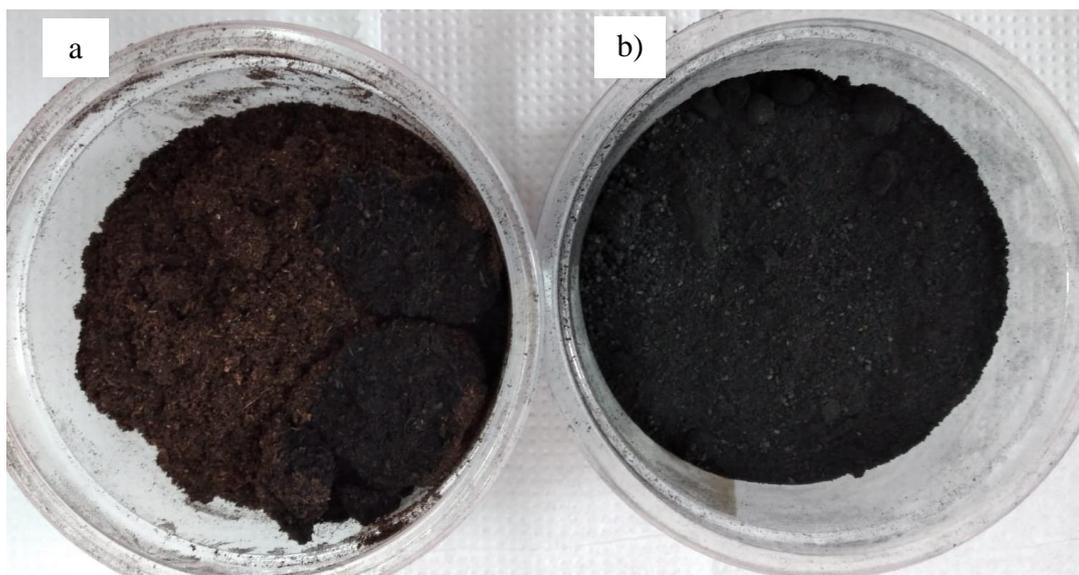
Os experimentos foram realizados em duplicatas, sob as condições otimizadas, 25 °C e 150 rpm, para quantificar os resultados foi seguido o mesmo procedimento descrito na seção 4.4.1. Vale ressaltar que, os estudos de dosagem e pH foram feitos apenas para os três melhores carvões e na melhor temperatura de carbonização.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Carbonizações das biomassas do caroço de cajá, casca de cupuaçu, cacho de pupunha e braço de buriti.

Os rendimentos obtidos a partir da queima das biomassas são mostrados na Tabela 4. Na carbonização dos precursores a 600 °C observou-se que não houve carbonização de forma homogênea em todos os materiais utilizados no processo. É possível observar através do aspecto visual que ainda há material in natura no precursor de caroço de cajá a 600 °C (Figura 9a), evidenciando que a transferência de calor não ocorreu de forma uniforme para esse material.

Figura 9 - Aspecto visual dos precursores carbonizados: a) Caroço de cajá a 600 °C e b) demais precursores.



Fonte: autor, 2022

Os demais materiais visualmente foram carbonizados totalmente, como pode ser verificado na Figura 9b, no qual se observa que o material apresenta uma cor bastante uniforme, evidenciando que a carbonização ocorreu de forma eficiente. A confirmação da eficiência da carbonização foi confirmada através da Espectroscopia Vibracional na Região do Infravermelho (FTIR).

Tabela 4 - Efeitos da variação de temperatura no rendimento da queima das biomassas por 2 h para massa inicial de 50 g.

MATERIAL	600 °C	700 °C	800 °C	900 °C
Caroço de Cajá	Não carbonizou	23%	21,9%	20,3%
Casca de Cupu	27,6%	25,7%	24,1%	22,6%
Cacho de Pupunha	28%	25,2%	22,6%	19,4%
Buriti	11,6%	Não utilizado	Não utilizado	Não utilizado

Fonte: autor, 2022

É possível observar nos dados da Tabela 4 que com o aumento da temperatura de queima o rendimento é diminuído para todos os materiais precursores, devido a uma maior perda de massa, associada a formação de gases em razão da combustão da biomassa. Vários trabalhos relatam que com o aumento de temperatura o rendimento gravimétrico tende a diminuir devido a maior perda de massa associada ao processo de queima da biomassa (AZEVEDO et al., 2013.; VIEIRA et al., 2013.; SILVA et al., 2018).

O carvão oriundo da biomassa do braço de buriti (pecíolos das folhas) apresentou rendimento muito baixo (11,6%) para a temperatura de carbonização a 600 °C. Além do baixo rendimento para essa biomassa, foi perceptível através do aspecto visual uma grande quantidade de cinzas. De acordo com Silva (2020) a matéria mineral contida nas cinzas é um fator negativo no processo de adsorção, pois causa um efeito desfavorável na remoção de efluentes contaminados.

Tendo em vista que o aproveitamento na carbonização para esse precursor foi muito pequeno, não foram realizados experimentos de carbonização em temperaturas mais elevadas, pois é inviável gastar muita energia e obter um baixo rendimento, principalmente em escala industrial (LOPES, 2020). Esse baixo rendimento se deve ao fato de que essa biomassa é a que apresenta a menor densidade entre todos os materiais.

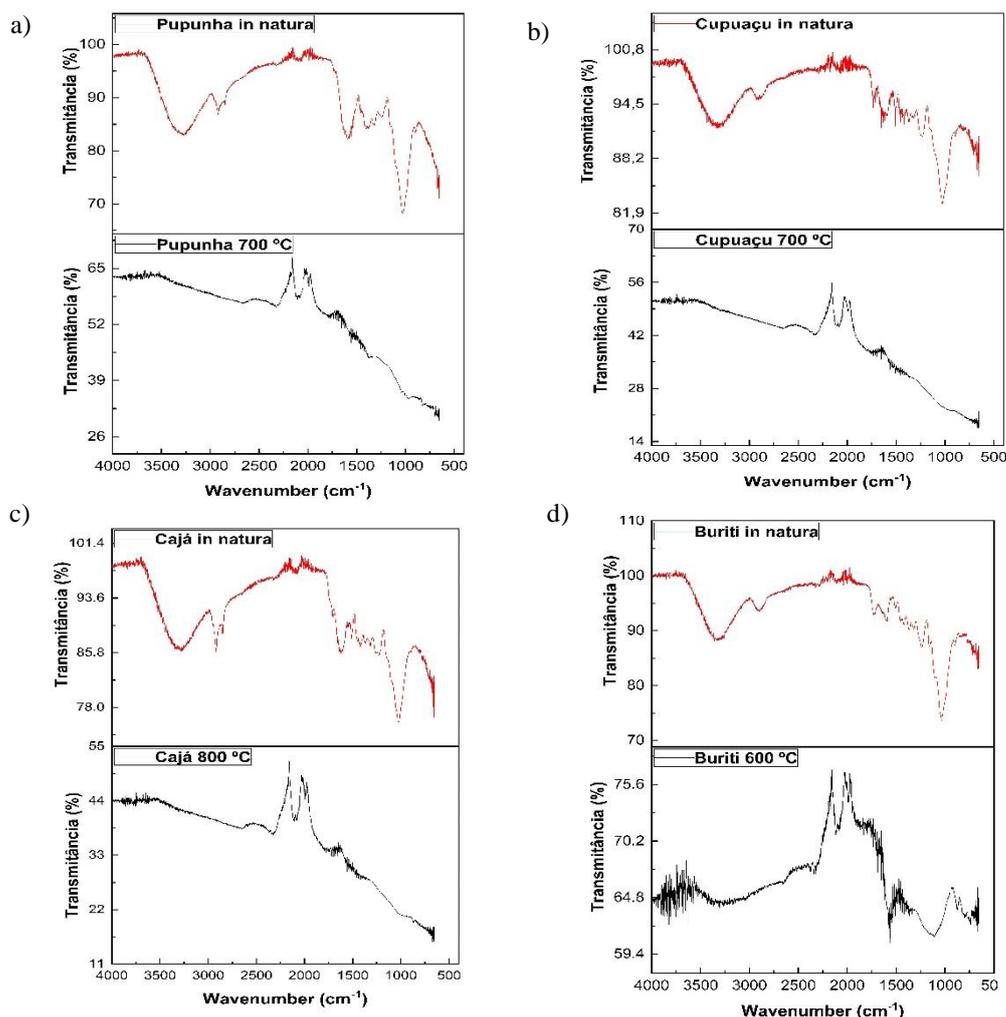
5.2 Caracterização dos materiais *in natura* e carbonizado

5.2.1 Espectroscopia vibracional na região do infravermelho (FTIR)

Os espectros de infravermelho apresentados na Figura 10 para todos os materiais *in natura* apresentam uma banda bastante larga na região por volta de 3500 a 3200 cm^{-1} , essa é uma banda de estiramento característica do grupo O-H (hidroxila), geralmente essa absorção é um indicativo de água nas amostras. Verifica-se também nos espectros *in natura* que nas regiões próximas de 2800 cm^{-1} aparecem bandas de estiramento que é característico das ligações C-H (sp^2 e sp^3), essas bandas são comumente apresentadas por substâncias lignocelulósicas. Constata-se ainda nos espectros *in natura* uma banda em 1000 cm^{-1} característica de estiramento da ligação C-O. Segundo Pavia et al. (2015) as bandas de estiramento C-O aparecem no espectro entre 1260 e 1000 cm^{-1} .

Nos espectros de infravermelho para os precursores carbonizados percebe-se que não aparecem as frequências de estiramento dos grupos que apareceram nos materiais *in natura*, indicando que os grupos O-H, C-O, C-H (sp^2 e sp^3) foram eliminados das amostras, devido a carbonização nas temperaturas bastante elevadas. Durante o processo de carbonização ocorre a liberação de CO_2 e H_2O .

Figura 10 - Espectros vibracionais (FTIR) na região de 4000 a 400 cm^{-1} dos adsorventes: in natura e carbonizados.

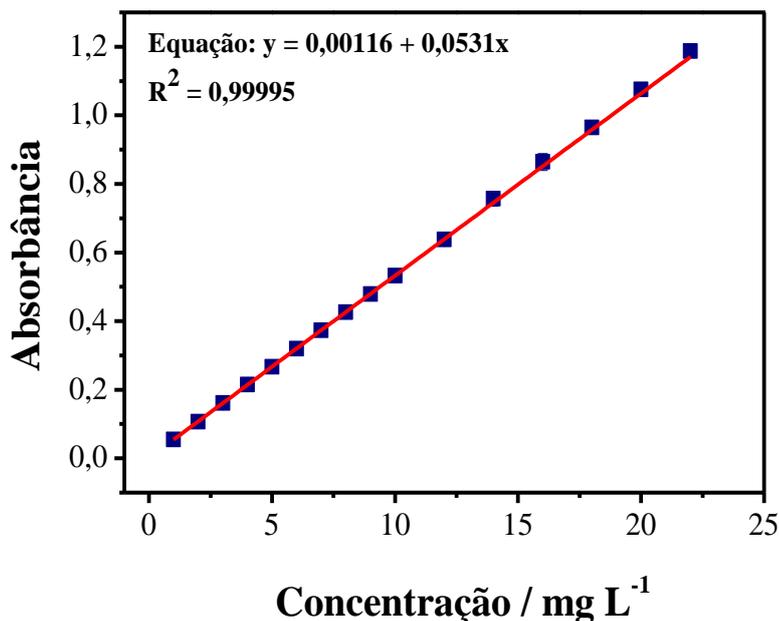


Fonte: autor, 2022

A caracterização por FTIR foi realizado somente para esses materiais carbonizados porque os ensaios dos parâmetros pH e quantidade de adsorvente no processo de adsorção foram realizados somente para esses carvões. Os resultados mostrados através da espectroscopia vibracional na região do infravermelho nos permitem perceber que o processo de carbonização ocorreu de forma eficiente, pois os espectros dos materiais carbonizados demonstram que houve a eliminação dos grupos observados nos precursores *in natura*, por esse motivo, para as amostras carbonizados quase não é observado bandas vibracionais.

5.3 Curva de calibração para o corante têxtil aniônico amarelo ácido 17

A curva analítica para o corante têxtil aniônico amarelo ácido 17, na faixa de concentração de 1,0 a 22 mg/L do corante é mostrada na Figura 11.

Figura 11 - Curva de calibração para o corante têxtil aniônico amarelo ácido 17

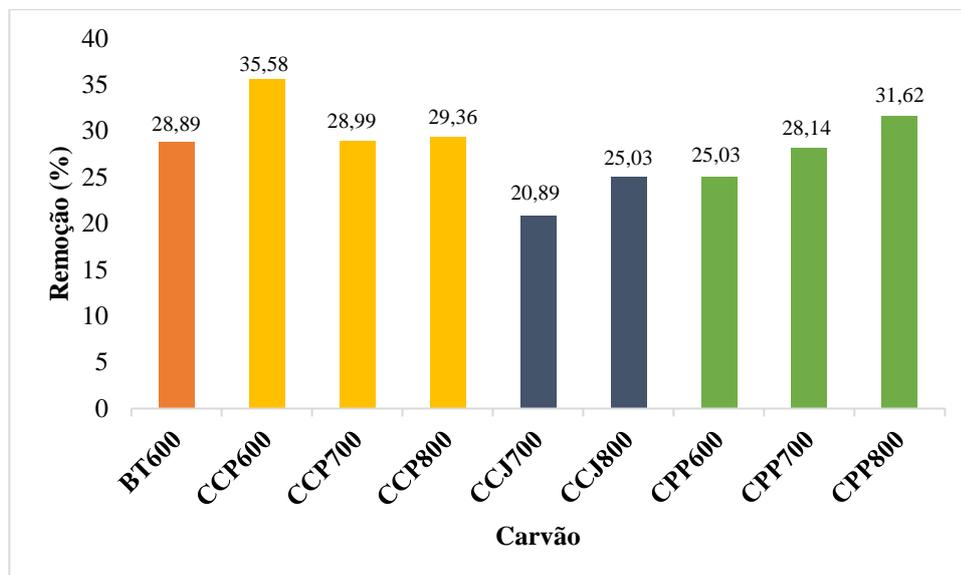
Fonte: Lopes, 2020

De acordo com Lopes (2020) nesta faixa de concentração a curva de calibração apresentou uma excelente linearidade, caracterizada por um coeficiente de correlação, r^2 de 0,99995. Para concentrações acima de 22 mg/L foi observado um desvio da linearidade devido à alta absorvidade molar do corante em 400 nm, favorecendo desvios da lei de Beer-Lambert. Assim, para as amostras com concentrações fora desta faixa de concentração foram realizadas diluições para a quantificação.

5.4 Medidas de adsorção para o corante têxtil aniônico amarelo ácido 17

Na sequência são apresentados os resultados para remoção do corante têxtil AY 17 para os carvões produzidos. A Figura 12 mostra que a remoção do AY 17 na concentração de 200 mg/L não ocorreu de forma eficiente para todos os materiais adsorventes utilizados. Os testes mostraram que o CCP600 (carvão da casca de cupuaçu a 600 °C) foi o adsorvente que apresentou o maior índice de remoção com porcentagem igual a 35,58%. Ainda de acordo com a Figura 12 observa-se que o CCJ700 (carvão do caroço de cajá a 700 °C) foi o que apresentou a menor remoção, cujo valor foi de 20,89%. Além disso, pode ser observado uma melhora da capacidade adsorvente com o aumento da temperatura de carbonização para os carvões obtidos do caroço de cajá e pupunha, e que possivelmente está associado ao aumento da porosidade dos materiais.

Figura 12 - Remoção do corante AY 17 na concentração de 200 mg/L com 0,5 g dos carvões em diferentes temperaturas de carbonização

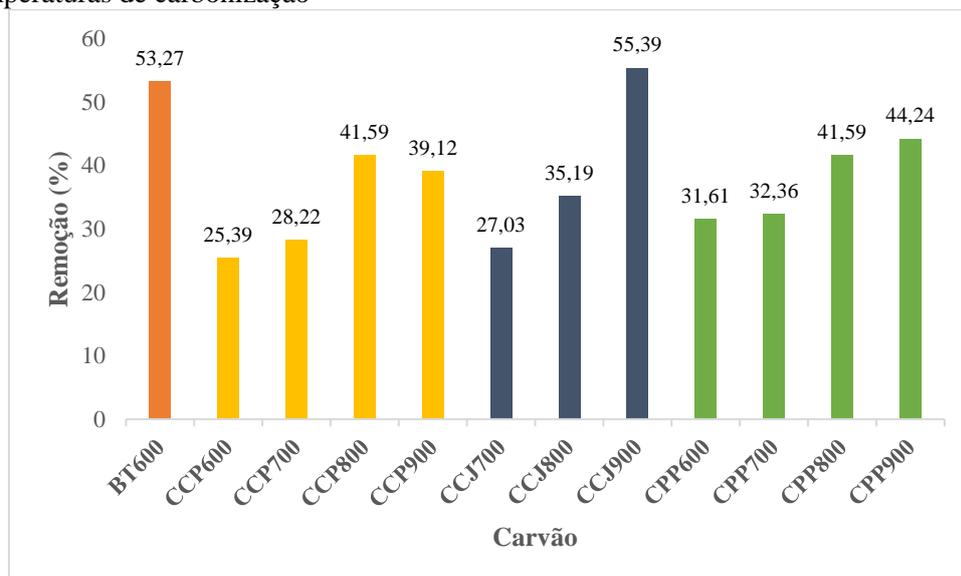


Fonte: autor, 2022

O baixo índice de remoção do AY 17 com os diferentes carvões é um indicativo de que houve pouca interação entre o corante e os adsorventes. Além da fraca interação entre adsorvente/adsorvato, outros parâmetros como temperatura, tempo de contato, velocidade de rotação, pH e concentração do corante (NETO et al., 2014) podem ter influenciado na baixa remoção do corante aniônico amarelo ácido 17. Ressalta-se que, como esses foram os primeiros experimentos, não foi realizado ensaios de adsorção para carvões sintetizados em temperaturas maiores que 800 °C. Outro ponto é o tamanho desta molécula que requer adsorventes com poros maiores (meso e macroporos para uma interação mais efetiva).

Para verificar se a concentração do corante estava influenciando no processo foram feitos novos ensaios. Os resultados de adsorção do AY 17 na concentração de 100 mg/L são apresentados na Figura 13. Quando comparado com a concentração de 200 mg/L, há um aumento da capacidade adsorptiva para os materiais, em conformidade com dados reportados na literatura, porém abaixo dos índices de remoção ideal para materiais adsorventes, que é acima de 90 %.

Figura 13 - Remoção do corante AY 17 na concentração de 100 mg/L com 0,5 g dos carvões em diferentes temperaturas de carbonização



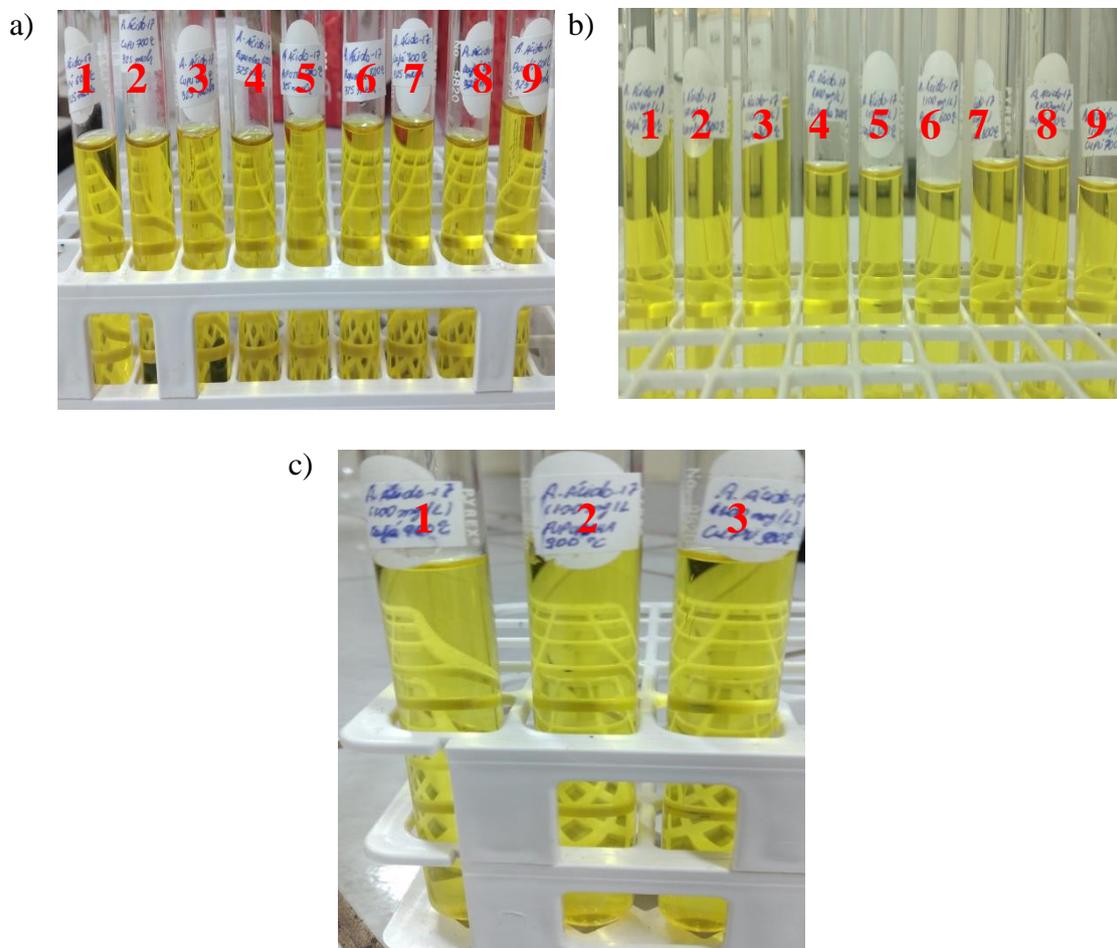
Fonte: autor, 2022

De acordo com os dados da Figura 13, observa-se que a melhor remoção, 55,39%, foi o material CCJ900 (carvão do caroço de cajá a 900 °C), mesmo este sendo o carvão com maior grau de remoção, admite-se que esse resultado não é satisfatório, pois a temperatura no processo de carbonização foi muito alta para uma mediana capacidade adsorvente. Nessas circunstâncias, pode-se dizer que a temperatura no processo de carbonização é um fator predominante para a produção de carvão, pois quanto maior a temperatura maior será o gasto energético, isso acaba tornando a produção mais cara, inviabilizando a produção desse adsorvente, principalmente em escala industrial.

Ainda de acordo com a Figura 13, destaca-se o BT600 (carvão do braço de buriti a 600 °C) que apresentou 53,27% de remoção do corante, resultado este muito próximo ao do CCJ900 (carvão do caroço de cajá a 900 °C). Mesmo que o BT600 tenha sido produzido a uma temperatura mais baixa (600 °C), sua utilização também é inviável para o processo de adsorção, pois conforme discutido no item 5.1 o rendimento de produção para esse carvão é muito baixo (11,6%), tornando inviável sua utilização em escala industrial.

Visto que todos os carvões não tiveram rendimentos satisfatórios na remoção do AY 17 para as concentrações de 100 e 200 mg/L é necessário otimizar outros parâmetros para que se tenha uma resposta mais concreta a respeito dos fatores que podem estar afetando no processo de adsorção deste corante. A Figura 14 mostra o aspecto visual do corante AY 17 depois de realizados os ensaios de adsorção.

Figura 14 - Aspecto visual do corante AY 17 após os ensaios de adsorção em diferentes concentrações com a utilização dos diferentes adsorventes. **a) 200 mg/L:** 1 (BT 600), 2 (CCJ 700), 3 (CCJ 800), 4 (CCP 600), 5 (CCP 700), 6 (CCP 800), 7 (CPP 600), 8 (CPP 700) e 9 (CPP 800); **b) 100 mg/L:** 1 (BT 600), 2 (CCJ 700), 3 (CCJ 800), 4 (CCP 600), 5 (CCP 700), 6 (CCP 800), 7 (CPP 600), 8 (CPP 700) e 9 (CPP 800) e **c) 100 mg/L:** 1 (CCP 900), 2 (CPP 900) e 3 (CCJ 900).



Fonte: autor, 2022

Observa-se na (Figura 14a) que os sobrenadantes após os ensaios de adsorção ainda apresentam coloração amarelada mais intensa do que nas (Figuras 14b e 14c). A cor menos intensa verificada nas duas últimas figuras é porque a solução do corante foi preparada em menor concentração para esses ensaios. No entanto, mesmo com a baixa concentração da solução ainda é possível verificar que há muito corante em solução, logo, os aspectos visuais confirmam ainda mais que a remoção do corante aniônico AY 17 não ocorreu de forma eficiente.

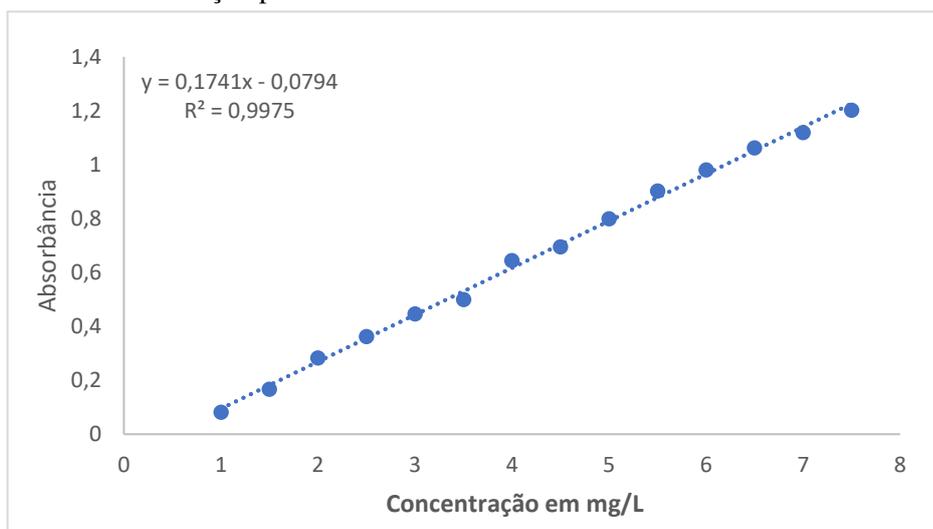
Como os resultados dos ensaios de adsorção do corante aniônico AY 17 não foram satisfatórios para o estudo em questão, foi preciso investigar o potencial adsorptivo dos carvões para um outro corante que possui características diferentes das apresentadas pelo amarelo

ácido 17. Os estudos posteriores foram realizados com a utilização do corante catiônico verde brilhante (VB).

5.5 Curva de calibração para o corante têxtil catiônico verde brilhante

A curva analítica para o corante têxtil catiônico verde brilhante (VB), na faixa de concentração de 1,0 a 7,5 mg/L do corante é mostrada na Figura 15.

Figura 15 - Curva de calibração para o corante têxtil catiônico Verde Brilhante



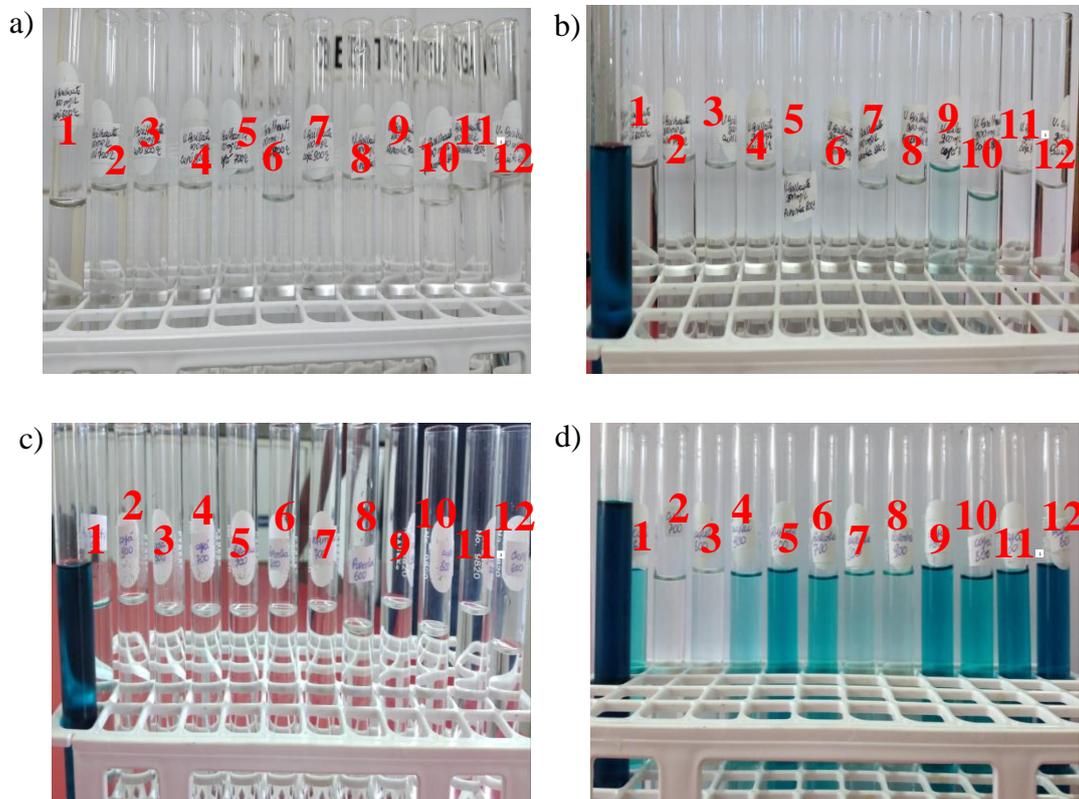
Fonte: autor, 2022

A Figura 15 mostra que na faixa de concentração de 1,0 a 7,5 mg/L para a curva de calibração foi a que apresentou melhor linearidade, caracterizada por um coeficiente de correlação, r^2 de 0,9975. Para concentrações acima de 7,5 mg/L foi observado um desvio da linearidade devido à alta absorvidade molar do corante catiônico verde brilhante em 625 nm ser favorável ao desvio da lei de Beer-Lambert. Logo, para as amostras com concentrações fora dessa faixa de concentração foi preciso realizar diluições para fazer a quantificação.

5.6 Medidas de adsorção para o corante têxtil catiônico verde brilhante

Nesta seção, são apresentados os resultados dos ensaios de adsorção do corante catiônico VB para os adsorventes sintetizados. A Figura 16 mostra o aspecto visual das soluções do corante catiônico verde brilhante após o processo de adsorção com os carvões das biomassas usadas neste estudo.

Figura 16 - Aspecto visual do corante VB após os ensaios de adsorção em diferentes concentrações. a) 100 mg/L; b) 200 mg/L; c) 300 mg/L e d) 500 mg/L. Utilizando 0,5 g de cada carvão. Nos tubos de ensaio foram colocados os seguintes carvões: 1 (BT 600), 2 (CPP 600), 3 (CPP 700), 4 (CPP 800), 5 (CPP 900), 6 (CCP 700), 7 (CCP 600), 8 (CCP 800), 9 (CCP 900), 10 (CCJ 900), 11 (CCJ 700) e 12 (CCJ 800).

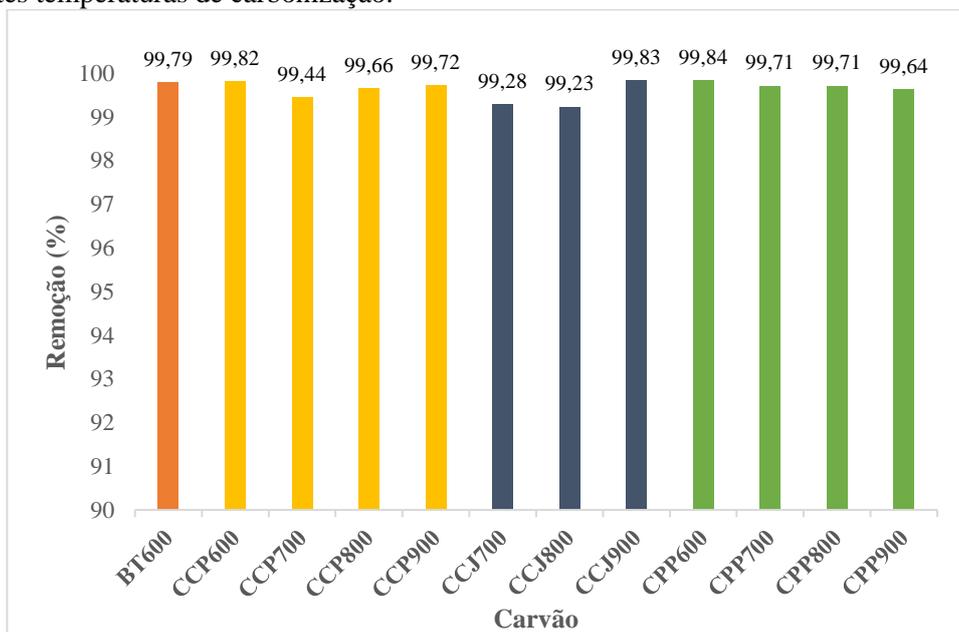


Fonte: autor, 2022

Os ensaios de adsorção para esse corante ocorreram de forma muito eficiente, a Figura 16 mostra que os sobrenadantes do VB apresentam pouca ou mesmo nenhuma coloração para as concentrações de 100, 200 e 300 mg/L. Já para a concentração de 500 mg/L é possível verificar a diferença de cor nos tubos de ensaio, dessa maneira, é perceptível observar diferença através do aspecto visual, indicando que alguns carvões apresentam uma melhor capacidade adsorptiva que outros para remoção desse corante catiônico. Ressalta-se que, a coloração mais forte apresentada nos primeiros tubos de ensaio da esquerda para a direita nas Figuras (16b, 16c e 16d), é da solução inicial, sem uso de carvão.

A eficiência adsorptiva dos carvões é mostrada de forma quantitativa na Figura 17 para a remoção do corante VB na concentração de 300 mg/L.

Figura 17 - Remoção do corante VB na concentração de 300 mg/L com 0,5 g dos carvões em diferentes temperaturas de carbonização.



Fonte: autor, 2022

Os dados reportados na Figura 17 confirmam a alta eficiência adsorptiva dos carvões para esse corante, caracterizado por índices de remoção superiores a 99%. Estes dados permitem afirmar que a interação adsorvente/adsorvato é mais efetiva, quando comparada ao amarelo 17, e pode estar associada ao caráter catiônico do corante VB e ao menor tamanho deste corante. Vale ressaltar que, os ensaios foram feitos nas mesmas condições para os dois corantes.

Uma vez que a remoção do corante VB nas concentrações de 100, 200 e 300 mg/L foi muito alta, na qual não foi possível distinguir dentre todos os carvões, qual é o melhor adsorvente, foi necessário aumentar a concentração da solução para 500 mg/L. Nesta concentração, foi possível verificar qual o melhor adsorvente no processo de adsorção do corante catiônico verde brilhante. A Tabela 5 mostra quantitativamente o potencial adsorptivo dos carvões utilizados nos ensaios para essa concentração do corante VB.

Tabela 5 - Remoção do corante VB na concentração de 500 mg/L com 0,5 g dos carvões em diferentes temperaturas de carbonização.

Materiais	Remoção %
BT600	92,62
CCP600	99,40
CCP700	99,90

CCP800	99,91
CCP900	99,66
CCJ700	98,16
CCJ800	98,94
CCJ900	97,57
CPP600	98,59
CPP700	99,27
CPP800	99,82
CPP900	99,86

Fonte: autor, 2022

Com o aumento da concentração da solução de VB para 500 mg/L foi perceptível a diferença no potencial adsorativo dos materiais, verifica-se na Tabela 5 que mesmo para essa concentração mais elevada do corante a porcentagem de remoção ainda é bastante alta. O carvão de BT600 (carvão de braço de buriti a 600 °C) apresentou 92,62% de remoção, sendo este o carvão com menor potencial adsorativo, nestas condições.

Uma vez que na presença 0,5 g de carvão houve grande remoção do corante VB na concentração de 500 mg/L foi selecionado, com exceção do CCP600 (carvão do braço de buriti a 600 °C), apenas um carvão de cada precursor para avaliar outros parâmetros no processo de adsorção. Os carvões utilizados para os outros processos que apresentaram alto índice de remoção do corante VB também na faixa de concentração de 500 mg/L foram o CCP700 (carvão da casca de cupu a 700 °C) com 99,90% de remoção, CCJ800 (carvão do caroço de cajá a 800 °C) que obteve 98,94% de remoção e o CPP700 (carvão do cacho de pupunha a 700 °C) com remoção de 99,27%.

Os dados apresentados na Tabela 5 nos permitem perceber que para a remoção do corante catiônico VB não é preciso grande quantidade de adsorvente oriundo das biomassas estudadas. Logo, é de grande valia que esses carvões possam ser usados, principalmente em escala industrial, com mais frequência na remoção desse efluente. A partir dos resultados obtidos, foi realizado estudos de outros parâmetros no processo de adsorção, como a dosagem e o pH.

5.7 Estudo da capacidade de remoção do VB em função da variação de massa dos adsorventes do CCP700, CCJ800 e CPP700

A Tabela 6 mostra o efeito da massa de adsorvente dos diferentes carvões na faixa de 0,1 a 1,0 g na remoção do VB em 300 mg/L a 150 rpm e 25 °C. É observado que para todos os adsorventes, a partir de 0,1 g o percentual de remoção é acima de 95%. Esse alto grau de remoção do corante com uma pequena massa de adsorvente mostra a alta afinidade dos materiais para o verde brilhante.

Nota-se também que, conforme foi aumentada a quantidade dos carvões no experimento, houve maior remoção do corante. Isso acontece porque o número de sítios ativos nos adsorventes é proporcional ao aumento da sua massa, ou seja, há mais locais disponíveis para alocar as moléculas do corante catiônico verde brilhante (FIGUEIREDO, 2022). Por isso, com a utilização de apenas 0,3 g de carvão todos os adsorventes alcançaram remoção acima de 99,7%.

Tabela 6 - Estudo da capacidade adsorptiva dos carvões (CCP700), (CCJ800) e (CPP700) em função da variação de massa de adsorvente na granulometria de 325 mesh, 150 rpm, 25 °C e 300 mg L⁻¹ de VB.

Massa (g)	Remoção %		
	CCP700	CCJ800	CPP700
0,1	97,09	95,45	98,77
0,2	98,65	98,52	99,80
0,3	99,77	99,72	99,85
0,4	99,85	99,84	99,85
0,5	99,85	99,85	99,85
0,6	99,85	99,85	99,85
0,7	99,85	99,85	99,85
0,8	99,85	99,85	99,85
0,9	99,85	99,85	99,85
1,0	99,85	99,85	99,85

Fonte: autor, 2022

Os resultados para todos os materiais são satisfatórios em escala de laboratório, indicando a viabilidade do uso de biomassas para produção de carvão ativado. O mesmo fato é observado em outros trabalhos, ao aumentar a massa de adsorventes a remoção de corantes é aumentada. Brasil (2019) usa carvão ativado comercial para a remoção do corante amarelo C-RG na concentração de 50 ppm, os resultados mostram que para a concentração do carvão

igual a 1 g/L a remoção do corante é de 78,95% e quando a concentração mássica do carvão foi duplicada, alcançou-se 92,02% de remoção do corante.

Outro trabalho que mostra maior remoção com o aumento de massa de adsorvente é o de Valcarenghi et al. (2014), que usa carvão ativado granular (CAG), pó de serragem de MDF e de madeirite como adsorventes para a remoção do corante Azul de metileno na concentração de 0,15 g/L, o trabalho evidencia que independente do adsorvente os melhores resultados foram alcançados com o aumento da massa, no qual, com a utilização de 6 g de adsorventes os índices de remoção foram de 98,2% para o para serragem de MDF, 97,9% para a serragem de madeirite e aproximadamente 100% para o carvão ativado granular.

5.8 Estudo comparativo da adsorção do (CCP700), (CCJ800) e (CPP700) em função do pH

Os resultados para os testes de pH são apresentados na Tabela 7. Para todos os materiais utilizados no experimento verifica-se que houve maior remoção à medida que o pH da solução aumenta. O CCJ800 foi o carvão que apresentou a menor porcentagem de remoção com 78,16% no pH igual a 3. Nesse mesmo pH o CCP700 apresentou 83,46% de remoção e o carvão com melhor capacidade adsortiva, acima de 99,33%, em toda faixa de pH foi o CPP700.

Tabela 7 - Comparação da capacidade adsortiva em função do pH dos adsorventes (CCP700), (CCJ800) e (CPP700), com granulometria 325 mesh, 150 rpm, 25 °C e usando 0,2 g de adsorvente.

pH	Remoção %		
	CCP700	CCJ800	CPP700
3	83,46	78,16	99,33
4	99,76	98,95	99,51
5	99,84	93,44	98,90
6	99,84	99,85	99,80
7	99,82	99,85	99,84
8	99,80	99,85	99,85
9	99,80	99,85	99,82
10	99,82	99,85	99,81

Fonte: autor, 2022

A partir do pH 6 todos os carvões alcançaram índice de remoção acima de 99,8%. Conforme verificado por Leal et al. (2012) a maior remoção em pH's mais elevados para esse corante se deve ao fato de que o VB é um corante de caráter catiônico, que em pH ácido pode ocorrer uma competição entre os íons H^+ presentes na solução com os íons também de carga positiva presentes no corante verde brilhante, por consequência, em pH ácido o índice de remoção é menor do que em pH alcalino.

A influência do pH no processo de adsorção também é mostrada no trabalho de Ferreira (2013), no qual, foi usado carvão ativado granular comercial e casca de arroz modificada com NaOH para a remoção do corante Amarelo Tartrazina (AT), observou-se que para os dois adsorventes houve mais remoção em pH 2, a maior porcentagem de remoção foi de 20%. Esse fato é explicado porque o grupo N-N do corante AT é negativamente carregado, caracterizando ser um corante aniônico, por isso ele é melhor removido da solução em meio ácido.

O mesmo fato também é observado no trabalho de Marin et al. (2015) que utiliza o adsorvente comercial DowexTM OptiporeTM SD-2 para a remoção do corante Azul Reativo 5G, os resultados mostram que em pH 2 a remoção do corante foi de $(292 \pm 8 \text{ mg/g})$ e em pH entre 5 e 9 a remoção foi de $(\text{aproximadamente } 134 \pm 9 \text{ mg/g})$. A maior remoção é verificada em pH ácido porque o corante possui um grupo sulfonato, responsável por seu caráter aniônico, possuindo assim, carga parcial negativa. Desse modo, ocorre uma maior interação eletrostática entre a superfície positiva do adsorvente e o corante aniônico, por isso é favorecida a adsorção em pH 2.

Os resultados para os ensaios de adsorção para o verde brilhante e os trabalhos citados mostram que o pH tem influência significativa no processo de adsorção, por consequência, observa-se que para corantes com carga positiva a tendência é que ocorra maior remoção em pH alcalino e para corantes aniônicos a adsorção será feita com mais eficiência em meio ácido. Logo, o trabalho em questão está em consonância aos apresentados na literatura.

5.9 Estudo comparativo da adsorção do VB com uso dos carvões produzidos neste trabalho e com um carvão ativado comercial.

Para verificar a qualidade dos carvões ativados, foi realizado ensaios de adsorção do corante verde brilhante na concentração de 500 mg/L usando carvão ativado comercial, os testes foram feitos em duplicatas, nas mesmas condições que foram realizados os ensaios para

os carvões sintetizados neste trabalho. O resultado de remoção desse corante com o uso de carvão ativado comercial foi muito satisfatório, com remoção de 99,6%.

Em comparação aos melhores carvões das biomassas utilizadas neste trabalho, nota-se que o potencial adsorptivo para os precursores caroço de cajá, casca de cupuaçu, cacho de pupunha e braço de buriti (pecíolos das folhas) se mostraram muito eficiente, pois na concentração de 500 mg/L os carvões BT600 (carvão de braço de buriti a 600 °C), CCP700 (carvão da casca de cupu a 700 °C), CCJ800 (carvão do caroço de cajá a 800 °C) e o CPP700 (carvão do cacho de pupunha a 700 °C) apresentaram 92,62%, 99,90%, 98,94% e 99,27% de remoção do corante, respectivamente.

Visto que os resultados de adsorção com uso dos carvões sintetizados e comercial são muito próximos, pode-se inferir que a utilização dos adsorventes produzidos neste trabalho também é viável para utilização comercial, pois a capacidade de remoção do verde brilhante foi similar ao carvão ativado comercial, outrossim, o custo de produção destes adsorventes é menor do que para a produção do carvão ativado comercial, sem contar que essas biomassas são de fácil obtenção.

6 CONCLUSÃO

Os ensaios realizados neste estudo indicam o potencial do uso de carvões obtidos de precursores amazônicos como adsorventes alternativos para a adsorção dos corantes têxteis amarelo ácido 17 e verde brilhante em meio aquoso, sendo mais eficientes para o corante catiônico.

No que se refere a caracterização dos adsorventes, por meio da espectroscopia vibracional na região do infravermelho, verificou-se que todos os adsorventes apresentam uniformidades estruturais, nos quais os grupos funcionais orgânicos foram removidos durante a carbonização.

Os ensaios de adsorção para o corante amarelo ácido 17 apresentaram valores de remoção máxima de 35,58% e 55,39%, dependendo da concentração da solução. Já a remoção do corante verde brilhante alcançaram valores de remoção próximos de 100%, indicando que houve uma maior interação química dos carvões com esse corante, quando comparado com o AY 17. Os estudos também mostraram que o pH influencia diretamente no processo de adsorção do VB, pois em meio básico observa-se maior remoção do que em meio ácido.

Os carvões CCP 700, CPP 700 e CCJ 800 apresentaram valores de remoção iguais ou superiores ao carvão comercial para o corante têxtil verde brilhante. Em razão disso, pode-se inferir que os carvões produzidos a partir dessas biomassas são excelentes alternativas no que diz respeito a substituição do carvão ativado comercial, outrossim, essas fontes renováveis se utilizadas corretamente são opções valiosas para mitigar os impactos causados por esses insumos que na maioria das vezes são descartados incorretamente no meio ambiente.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Tendo em vista as delimitações deste trabalho e o surgimento de questionamentos durante o seu desenvolvimento, são apresentadas várias sugestões para a complementação desta pesquisa.

- Caracterizar os adsorventes através da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), e assim, avaliar a morfologia e a forma das amostras;
- Analisar o Ponto de Carga Zero com o objetivo de saber se os carvões apresentam características químicas ácidas ou básicas;
- Realizar o Estudo Cinético no processo de adsorção a fim de determinar o tempo necessário para se alcançar o equilíbrio entre o adsorvato e o adsorvente;
- Ajustar os Modelos Cinéticos com intuito de investigar quais se ajustam no processo de adsorção;
- Estudar as Isotermas de Adsorção para descrever o comportamento e a capacidade de adsorção nos processos de remoção dos efluentes.

REFERÊNCIAS

- ABIT – Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção. Perfil do Setor. Disponível em: <https://abit.org.br/cont/perfil-do-setor>. Acesso em: 28 de março de 2022.
- ALVES, W. A.; *et al.* **Capítulo XXX: A aplicação de quitina no tratamento de efluentes de indústrias têxtil: um estudo de revisão. Meio ambiente e sustentabilidade: pesquisa reflexões e diálogos emergentes.** V. 1. Campina grande: Ampla, 2021. *E-book*.
- ALMEIDA, S. P.; SILVA, J. A.; **Piqui e buriti: importância alimentar para a população dos Cerrados.** Planaltina: Embrapa-CPAC, 1994.
- ARAÚJO, M. E. M. **A cor dos têxteis antigos: Os neutros: bege, castanho e preto.** Departamento de Química e Bioquímica. Universidade de Lisboa. Lisboa: Museu Nacional de Arqueologia, 2012.
- ARAÚJO, M. E. M. **Corantes naturais para têxteis – da antiguidade aos tempos modernos.** Departamento de Química e Bioquímica. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Lisboa: Associação Profissional de Conservadores Restauradores de Portugal, 2006.
- ASHRAF, A. M.; *et al.* **Removal of acid yellow-17 dye from aqueous solution using eco-friendly biosorbent.** Department of Chemistry, University of Malaya, Kuala Lumpur 50603. Desalination and Water Treatment. v. 52. p. 4530-4545. Malaysia, 2012.
- AZEVEDO, S. H. C.; *et al.* **Influência da temperatura final de carbonização e da taxa de aquecimento no rendimento gravimétrico e no teor de cinzas do carvão do *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*.** Goiânia: Centro Científico conhecer. v. 9. n. 16. p. 1279. Jul. 2013.
- BARROS, N. **Efluentes têxteis. Saiba as principais características e desafios no tratamento desse tipo de efluente.** Disponível em: <https://natanaelbarros.com.br/2020/01/14/efluentes-texteis-saiba-as-principais-caracteristicas-e-desafios-no-tratamento-desse-tipo-de-efluente/>. Acesso em: 17 de agosto de 2022.
- BASTIAN, O. T. E.; ROCCO, S. L. J. **Guia técnico ambiental da indústria têxtil.** São Paulo: CETESB – SINDITÊXTIL, 2009.
- BAZZO, A. **Aplicação e caracterização do caroço de abacate (*Persea americana* mil) como adsorvente na remoção do corante violeta cristal.** Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais). Porto Alegre, RS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2015.
- BRASIL, A. J. **Avaliação da capacidade de adsorção do carvão da pirólise do capim elefante em corante têxteis red-SB e amarelo C-RG.** Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Química). Natal-RN: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2019.
- BRESCIA, A, E.; VASCONCELOS, L. W. **Theoretical review of the interconnectivity of hierarchical porous materials – characterization by physical adsorption.** The Journal of Engineering and Exact Sciences, v. 08, 2022.

CALVETE, T.; LIMA, E. C.; CARDOSO, N. F.; DIAS, S. L. P.; RIBEIRO, E. S. **Removal of brilliant Green dye from aqueous solutions using home-made activated carbons**. Clean: Soil, Air, Water, v. 38, p. 521-532, 2010.

CARVALHO, T., FUNGARO, D.A., IZIDORO, J.C., **Adsorção do corante reativo laranja 16 de soluções aquosas por zeólita sintética**. São Paulo. Química Nova, v.33, p. 358-363, 2010.

CAVALCANTI, M. A.; SANTOS, F. G. **A indústria têxtil no Brasil: uma análise da importância da competitividade frente ao contexto mundial**. Pernambuco: Exacta. 20 (3), 706-726, 2020.

CHAVES, S. F. S. **Modelos para análises de medidas repetidas aplicadas no melhoramento do cupuaçuzeiro**. Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte integrante de Pós-graduação em Genética e Melhoramento, para a obtenção do título de *Magister Scientiae*. Minas Gerais: Departamento de Agronomia, 2022.

DÁVILA, J. V. I.; NUNES, P. G. K.; FÉRIS, A. L. **Remoção do Violeta Cristal por adsorção utilizando carvão ativado**. Uberaba, MG, Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação. v. 4. n. 2. p. 146-156, 2019.

DONKADOKULA, N. Y. *et al.* **A review on advanced physico-chemical and biological textile dye wastewater treatment techniques**. Rev Environ Sci/REVIW PAPER, 2020.

FERREIRA, R. G. M.; SANTOS, A. R. M.; BRAGADO, R. C. A. **Propagação In vitro de cupuaçuzeiro: desinfestação de explantes florais**. Porto Velho: Saber Científico, 2009.

FERREIRA, T. F. **Adsorção do corante Amarelo Tartrazina utilizando carvão ativado e casca de arroz**. Trabalho de Diplomação (Curso em Engenharia Química). Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), 2013.

FIGUEIREDO, S. P. **Remoção de prednisona por adsorção em carvão ativado obtido a partir do bagaço de oliveira**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Química). Bajé: Universidade Federal do Pampa, 2022.

FLORENCE, A. T.; ATTWOOD, D. **Princípios Físico-Químicos em Farmácia**. São Paulo. Editora da Universidade de São Paulo, 2003.

GEADA, O.M.R.N.D. **Remoção de Corantes Têxteis Utilizando Resíduos Agrícolas a Produção de Milho**. Dissertação (Curso de Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia da Universidade de Porto, Porto, p.137, 2006.

GORGULO, F. H.; *et al.* **Adsorção de fenol sobre carvão ativado em meio alcalino**. São João del Rei, MG, Departamento de Ciências Naturais, Universidade Federal de São João del Rei. Quim. Nova, v. 29, No. 6, 1226-1232, 2006.

GONÇALVES, C. A.; CARVALHO, O. A. F. **Estudos de adsorção de corantes industriais usando carvão ativado obtido da casca da castanha do Pará (*bertholletia excelsa*)**. V Seminário de Iniciação Científica: Talentos da Ciência e Tecnologias em Ação. Marabá-Pa. UNIFESSPA: 2019.

HEYLMANN, A. K. K.; *et al.* **Produção, caracterização e aplicação carvão ativado de caroço de pêssego no tratamento de efluente têxtil.** Pelotas, RS, Eng Saint Ambient. v. 26. n. 3. p. 485-494, 2020.

HOMMA, O. K. A. **Extrativismo vegetal na Amazônia: história, ecologia, economia e domesticação.** Brasília: Embrapa, 2014.

HOWE, J. K. *et al.* **Princípios de Tratamento de Água.** São Paulo. Cengage: 2016.

HYNES, N.R.J.; *et al.* **Modern Enabling Techniques and Adsorbents based Dye Removal with Sustainability Concerns in Textile Industrial Sector-A comprehensive review.** Journal of Cleaner Production, 2020.

KIELING, G. A. **Adsorção de betex-benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno – em cinza de casca de arroz e carvão ativado.** Tese de doutorado submetida ao programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Metais da UFRGS como requisito parcial para obtenção do grau de Doutora. Porto Alegre: UFRGS, 2016.

KUMAR R.; BARAKAT M.A. **Decolourization of hazardous brilliant green from aqueous solution using binary oxidized cactus fruit peel.** Chemical Engineering Journal, 226, p. 377–383, 2013.

KUNZ, A.; *et al.* **“Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis”.** Química Nova, v. 25, p. 78-82, 2002.

LALNUNHLIMI, S.; KRISHNASWAMY, V. **Decolorization of azo dyes (Direct Blue 151 and Direct Red 31) by moderately alkaliphilic bacterial consortium.** Brazilian Journal of Microbiology, v. 47, p. 39-46, 2016.

LACKEY, L.W; MINES, R.O; MCCREANOR, P.T. **Ozonation of acid yellow 17 dye in a semi batch bubble column.** J. Hazard. Mater, v. 138, p. 357–362, 2006.

LEAL, P. V. B.; *et al.* **Estudo da adsorção do corante azul de metileno em resíduos de babaçu.** Gurupi, TO, Journal of Biotechnology and Biodiversity, 3 (4), 166-171, 2012.

LOPES, O. D. **Estudos de Adsorção do corante amarelo ácido 17 usando carvão ativado do cacho do açaí e da casca da castanha.** Dissertação de mestrado. Marabá: UNIFESSPA, 2020.

LTIFI, I.; *et al.* **Study of the Adsorption of Bright Green by a Natural Clay and Modified.** Journal of Material Sciences & Engineering. Laboratory of Applications of Chemistry to Resources and Natural Substances and the Environment (LACReSNE), Department of Chemistry, Faculty of Science of Bizerte, University of Carthage. Tunisia, 2017.

LUCENA, M. L. **Estudo do processo de adsorção com o carvão ativado proveniente do endocarpo de coco (*Coccus Nuucifera* L) para a remoção de cor, DQO e toxicidade de efluente têxtil.** Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Caruaru: Universidade Federal de Pernambuco, 2018.

MARCELINO, A. V. N.; CUBA, F. M. R.; TERAN, C. J. F. **Reaproveitamento de sabugo de milho para potencial remoção de formulação comercial de glifosato em fase aquosa pela técnica de adsorção.** Goiânia, GO, Universidade Federal de Goiás, 2020.

MARIM, P.; *et al.* **Avaliação do efeito da temperatura, pH e granulometria do adsorvente na adsorção do corante azul reativo 5G.** Programa de Pós-graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Química da Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Paraná: ENGEVISTA, v. 17. n. 01. p. 59-68, 2015.

MAYER, S. L. S.; *et al.* **Avaliação tecnológica da biomassa residual de pupunheira para a produção de bioenergia.** Botucatu: Energia na agricultura. v. 35. n. 4. p. 549-561., 2020.

MENEGHINI, A.; *et al.* **Tratamentos numérico e ensaios experimentais da remoção de fenol em reator batelada e coluna de leito fixo utilizando carvão ativado.** Eng Sanit Ambient. v. 26. n. 4. p. 603-612, 2021.

MORAIS, M. R.; *et al.* **Produção de carvão a partir de *Eucalyptus dunnii* para adsorção de corante azul de metileno.** Ciência da Madeira (*Brazilian Journal of Wood Science*). v. 10 (1). p. 78-79. 2019.

NASCIMENTO, F. R.; *et al.* **ADSORÇÃO:** aspectos teóricos e aplicações ambientais. Fortaleza: Imprensa Universitária da Universidade Federal do Ceará, 2014.

NASCIMENTO, F. R.; *et al.* **ADSORÇÃO:** aspectos teóricos e aplicações ambientais. 2. ed. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2020.

DUARTE-NETO, F. J.; *et al.* **Processos de adsorção de corantes em argilas esmectíticas: uma revisão.** Campina Grande: Revista Eletrônica de Materiais e Processos. v. 9. n. 1. p. 51-59, 2014.

NETZE, A. P.; ORTEGA, G. G. **Fundamentos de Físico-Química: uma abordagem conceitual para as grandezas farmacêuticas.** Porto Alegre: Artmed, 2008. **ok**

OLIVEIRA, T. P.; *et al.* **Adsorção de Albumina do Soro Bovino (BSA) em Carvão Ativado Obtido a partir do Caroço do Cajá.** Congresso brasileiro de sistemas particulados. São Carlos-SP: ENEMP, 2015.

OLIVEIRA, M. D.; LEÃO, D. M. M. **Avaliação da biodegradabilidade de efluentes têxteis do beneficiamento secundário de malhas de poliéster tratados com reagentes de fenton.** Belo Horizonte: Quim. Nova. v. 32. n. 09. p. 2282-2286, 2009.

PAVIA, K. D.; *et al.* **Introdução a espectroscopia.** 2. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2015.

PEZOLLO, B. D. **TECIDOS:** história, tramas, tipos e usos. São Paulo: Senac São Paulo, 2021.

PINTO, S. W.; *et al.* **Caracterização física, físico-química e química de frutos e genótipos de cajazeiras.** Brasília: Pesq. agropec. bras. v. 38. n. 9. p. 1059-1066, 2003.

PIRES, R. A. **Obtenção de carvão ativado a partir do epicarpo do coco babaçu.** Monografia Graduação (Engenharia Ambiental). Palmas – TO, Universidade Federal do Tocantins, 2021.

PITUBA, C. J. J.; STOPPA, H. M.; COSTA, G. V. **Tecnologias em pesquisa: ciências exatas e ciências biológicas.** Goiás: Paco Editorial. v. 2, 2018.

RIBAS, C. M.; LIMA, C. E.; FÉRIS, A. L. **Estudo da remoção do corante vermelho de prociona MX-5B com a utilização de carvão ativado produzido a partir de caroço de pêssego.** Foz do Iguaçu, PR, 2º Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade, 2019.

ROCHA, Q. H. P.; RODRIGUES, P. J. **Caracterização e análise dos endocarpos de buriti e babaçu para fins energéticos.** Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Química). Brasília: Universidade de Brasília, 2018.

ROCHA, B. R.; *et al.* **Bactris gasipaes: Pupunha.** Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia. Rondônia: Embrapa, 2022.

SALEM, V. **TINGIMENTO TÊXTIL: fibras, conceitos e tecnologias.** São Paulo: Golden tecnologia, Blucher, 2010.

SANTOS, S. M. A.; *et al.* **Avaliação de redução da turbidez e coloração da água por filtro alternativo construído a partir de caroço de castanha-do-pará (*Bertholletia excelsa*).** Belém: Scientia Plena. v. 15. n. 9, 2019.

SCHER, C. A. **Adsorção de corante vermelho de congo empregando carvão ativado de casca de arroz.** Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental e Sanitária). Cerro Largo, RS, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), 2021.

SCHMAL, M. **Catálise heterogênea.** Rio de Janeiro: Synergia: COPPE/UFRJ, 2012.

SILVA, C. R.; *et al.* **Influência da temperatura final de carbonização nas características do carvão vegetal de espécies tropicais.** Gurupi, TO, Brazilian Journal of Forestry Researc. PFB, 2018.

SILVA, O. E.; *et al.* **Produção de carvão ativado a partir da palha de azevém para a adsorção de corante têxtil.** Revista da 15ª Jornada de Pós-graduação e Pesquisa. Congrega Urcamp. v. 15. n. 15. 2018.

SILVA, O. E. D. **Produção de carvão ativado a partir de endocarpo de coco para aplicação em processos de adsorção da dipirona.** Trabalho Final de Curso (Engenharia Química). João Pessoa, PB, Universidade Federal da Paraíba, 2020.

SILVA, S. M. P. **Levantamento de plantas corantes no Brasil.** Escola de Artes, Ciências e Humanidade. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2015.

SOARES, B. E.; *et al.* **Caracterização Física e Química de Frutos da Cajazeira.** Jaboticabal-SP: Bras. Frutic. v. 28. n. 3. p. 518-519, 2006.

SOUZA, C. G. **Controle e Monitoramento de poluentes atmosféricos**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

SOUZA, R. D. C.; SILVA, C. K. **Potencial energético dos resíduos da castanha do Brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.K) para a produção de carvão ativado**. Amazonas: Research, Society and Development, v. 10, n. 2, 2021.

SPACKI, C. K.; *et al.*; **Pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth): uma revisão**. Agricultura e Agroindústria no contexto do desenvolvimento rural sustentável. Brasília: Embrapa, 2021.

VALCARENGHI, G.; *et al.* **Adsorção de azul de metileno de solução aquosa com utilização de pó de serragem de mdf e madeirite e carvão ativado granular**. Florianópolis, SC, XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2014.

VAZOLLER, A. **Cálculo de reatores catalíticos gás-sólido: Cinética heterogênea e fenômenos de transferência**. Vitória: Alex Vazoller. v. 1. 1 ed. Vitória: 2019.

VIEIRA, S. R.; *et al.* **Influência da temperatura no rendimento dos produtos da carbonização de *Eucalyptus microcorys***. Cerne: Lavras. v. 19. n. 1. p. 59-64, 2013.

XAVIER, F. S. C. **Avaliação da remoção de corantes têxteis presentes em águas residuárias utilizando bagaço de cana-de-açúcar como adsorvente**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental). Centro de Ciências e Tecnologia. Campina Grande: Universidade Estadual da Paraíba, 2020.

ZANONI, B. V. M.; GUARATINI, I. C. C. **Corantes Têxteis**. Departamento de Química Analítica – Instituto de Química. Araraquara-SP: UNESP, 1999.