



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

**MATTHEUS DA CRUZ SILVA**

**ADSORÇÃO DO CORANTE VIOLETA CRISTAL UTILIZANDO CARVÃO**  
**ATIVADO OBTIDO DO CACHO DO AÇAÍ.**

**MARABÁ**

**2023**



MATTHEUS DA CRUZ SILVA

**ADSORÇÃO DO CORANTE VIOLETA CRISTAL UTILIZANDO CARVÃO  
ATIVADO OBTIDO DO CACHO DO AÇAÍ**

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

2023

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará**  
**Biblioteca Setorial II da UNIFESSPA**

---

S586a Silva, Matheus da Cruz  
Adsorção do corante violeta cristal utilizando carvão  
ativado obtido do cacho do açaí / Matheus da Cruz Silva. —  
2023.  
53 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

---

Elaborado por Marcelo da Silva Gomes – CRB-2/1208

MATTHEUS DA CRUZ SILVA

**ADSORÇÃO DO CORANTE VIOLETA CRISTAL UTILIZANDO CARVÃO  
ATIVADO OBTIDO DO CACHO DO AÇAÍ**

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), 17 de março de 2022

Banca Examinadora:

---

Prof. Dr. Francisco Adriano de Oliveira Carvalho

**Orientador**

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Adriane Damasceno Vieira De Souza

**Examinador externo**

---

Prof. Dr. Emerson Paulinho Boscheto

**Examinador externo**

Dedico este trabalho primeiramente a Deus,  
segundo aos meus pais, aos meus parentes,  
amigos, e ao Prof. Orientador.

## AGRADECIMENTOS

A Deus por seu imenso amor e misericórdia, ser meu guia em todos os momentos e me conceder esta conquista.

A minha mãe Lucinete da Cruz Silva e a meu pai Romildo Rocha Silva, pelas orações, por todo amor e carinho, ensinamentos, e esforços para que alcançasse este sonho.

A meu irmão, Lucas Cruz e a minha irmã Mislane Cruz por estarmos sempre unidos e me ajudarem nos deveres domésticos e me possibilitar experimentar momentos descontração e diversão.

A meus avós, por todos os ensinamentos, orações e esforços para a realização desta vitória, em especial a minha segunda mãe, minha avó, Maria de Lurdes Pereira.

A todas as minhas tias que me auxiliaram diretamente e indiretamente, em especial, Simélia Pereira da Cruz e Eva Pereira do Carmo pelo apoio e orientação durante o processo de inscrição do curso.

A meus primos, obrigado pelo companheirismo os momentos de diversão e todo o apoio.

A todos os meus amigos e colegas que me ajudaram durante a faculdade, de forma direta e indireta, em especial, Lanniele, Elivelton, Caroline, Sandy, Mayara, Airton, Rafael, Wendel, Paulo, Brenda, Alexandre Thamyres. Obrigado a todos pelo companheirismo e os momentos de felicidade que passamos juntos.

A meus amigos Elivelton de Santa Cruz e Brenda Thalita Paiva por toda a ajuda durante a pesquisa.

Ao meu orientador Prof. Dr. Francisco Adriano de Oliveira de Carvalho por ter aceitado me orientar. Obrigado por todos os ensinamentos, pela paciência e disponibilidade durante a pesquisa.

As instituições de fomento Capes e Fapespa pelas bolsas concedidas que foram de grande importância para minha formação.

Por fim, a todos os professores da FAQUIM, em especial o, Drº Claudio Emidio Silva e Profa. Dr. Simone Yasue, Prof. Dr. Sebastião da Cruz e ao Prof. Paulo de Tarso Garcia que contribuíram de forma significativa para o meu aprendizado.

“Essa página dedico a todos vocês”

## RESUMO

O presente estudo avalia o potencial adsorptivo do biocarvão sintetizado a partir da biomassa do cacho do açazeiro (*Euterpe oleracea Mart*), na remoção do corante têxtil violeta cristal (VC) e a caracterização do seu mecanismo cinético de adsorção. Três materiais foram obtidos, e nomeados de: CAQI-500 (carvão ativado quimicamente *in natura* e carbonizado a 500 °C), CAQ-500 (carvão ativado quimicamente a 500 °C a partir do CA-700), e o CA-700 (carvão sem a ativação química carbonizado a 700 °C). No ensaio de dosagem o CA-700 apresentou uma remoção máxima com 0,6 g de adsorvente na presença de 200mg/L de VC e volume de 100 mL de solução. Além disso, a capacidade adsorptiva do CA-700 aumenta à medida que o pH aumenta, sendo observado remoção em torno de 99 % nos pHs 9,0 e 10,0. O processo de ativação promoveu uma melhora significativa na capacidade adsorptiva, no qual foi verificado que o aumento da concentração de 200mg/L para 300 mg/L de corante e a redução de 0,4 para 0,3 g na massa dos adsorventes do CAQ-500 e CAQI-500 não promove a perda na capacidade adsorptiva. Nestas condições a remoção permanece constante em torno de 97,5 e 99,4 %. Estes valores são superiores ao verificado para o CA-700 na concentração de 200 mg/L e 0,4 g de adsorvente, cuja remoção foi apenas de 81,9 %. O modelo cinético que melhor descreve o processo de adsorção foi o modelo de pseudo-segunda ordem. Além disso, foi observado uma boa afinidade dos materiais pelo corante, onde nos 20 primeiros minutos de interação obteve-se uma remoção de 80 % e 62 % para o CA-500 e o CA-700, respectivamente. Os tempos de equilíbrio foram em torno de 300 minutos para ambos os materiais. Por fim, os resultados apontaram que os carvões sintetizados do cacho de açaí são promissores materiais para a remoção do violeta cristal, e consequentemente podem minimizar, ou extinguir impactos causados por este corante ao meio ambiente e à saúde humana.

**Palavras-chave:** Adsorção, carvão ativado, capacidade de adsorção, violeta cristal.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1.</b> Estruturas de Ressonância do corante violeta cristal .....	19
<b>Figura 2.</b> Equilíbrios de protonação do corante .....	20
<b>Figura 3.</b> Carvão ativado porosidade.....	24
<b>Figura 4.</b> Pés do Açaizeiro ( <i>Euterpe oleracea Mart.</i> ) .....	25
<b>Figura 5.</b> Amostra macerada com NaOH e água destilada.....	30
<b>Figura 6.</b> Fluxograma de cada etapa realizada .....	32
<b>Figura 7.</b> CA-700 após a etapa de carbonização .....	33
<b>Figura 8.</b> Materiais obtidos após a carbonização: do A) CAQI-700 B) CAQ-500 C) CAQI-500 .....	34
<b>Figura 9.</b> Curva analítica do Corante Violeta Cristal .....	35
<b>Figura 10.</b> Capacidade adsortiva em percentual do CA-700(A), e no equilíbrio, Ce,(B) ambas em função da variação de massa no corante VC, a 200mg/L, pH=4.16, 20 °C, 325 mesh, e 150 rpm. ....	36
<b>Figura 11.</b> Estudo de pH do corante VC no CA-700 na concentração de 200 mg/L, 0,5 g de adsorvente, rotação de 150 rpm, a temperatura de 25°C e tempo de contato de 200 min. ....	38
<b>Figura 12.</b> Cinética do VC com CAQ-500 e CA-700 .....	39
<b>Figura 13.</b> Ajustes dados experimentais ao modelo pseudo-primeira ordem para o CAQ-500 e CA-700 .....	40
<b>Figura 14.</b> Ajustes não experimentais pseudo segunda ordem.....	42



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Características químicas e físicas dos corantes têxteis .....	17
<b>Tabela 2.</b> As principais características da quimissorção e fisissorção.....	22
<b>Tabela 3.</b> Rendimentos e Massa finais dos carvões ativados quimicamente com o CAQ-500 e o CAQI-500. ....	34
<b>Tabela 4.</b> Carvões ativado quimicamente com NaOH, o CAQ-500 e o CAQI-500 nas quantidades de 0,4 e 0,3g na remoção do corante VC em 200 mg/L e 300mg/L e porcentagem de remoção, na temperatura de 25 °C,150 rpm e 200 min. ....	37
<b>Tabela 5.</b> Valores dos parâmetros dos modelos cinéticos aplicados à cinética de adsorção de corante VC nos materiais CA-700 e CAQ-500. ....	42

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

VC	Violeta cristal
CA	Carvão Ativado
CA-700	Carvão ativado a 700 °C e classificado a 325 mesh
CAQ-500	Carvão ativado quimicamente com NaOH a temperatura de 500 °C e classificado a 325 mesh
CAQI-500	Carvão ativado quimicamente <i>in natura</i> com NaOH a temperatura de 500 °C e classificado a 325 mesh
CAQI-700	Carvão ativado quimicamente a 700 °C
PSO	Pseudo-segunda ordem

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\lambda_{\max}$	Comprimento de onda máximo
R%	Rendimento percentual
$m_f$	Massa de carvão ativado produzido
$m_i$	Massa do precursor
$q(t)$	Quantidade de soluto (mg. g <sup>-1</sup> )
$q_{eq}$	Quantidade adsorvida quando o equilíbrio é atingido
$k_1$	Constante da taxa de adsorção pseudo-primeira ordem em (min <sup>-1</sup> )
$t$	Tempo de contato do adsorvato com adsorvente (min).
ln	Logaritmo natural
$k_2$	Constante da taxa de adsorção de pseudo-segunda ordem em (g mg <sup>-1</sup> min <sup>-1</sup> ).
$q_e$	Quantidade de adsorvato adsorvida no equilíbrio em (mg g <sup>-1</sup> )
$qt$	Quantidade adsorvida no tempo $t$

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>15</b>
2.1 Objetivo Geral .....	15
2.2 Objetivos Específicos .....	15
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>16</b>
3.1 Breve histórico dos corantes e sua definição .....	16
3.2 Corantes têxteis.....	17
3.3 Corante Têxtil Violeta Cristal(VC).....	18
3.4 Impactos ambientais e para saúde .....	20
3.5 Técnicas no tratamento de efluentes têxteis .....	21
3.5.1 Adsorção.....	21
3.5.2 Natureza da adsorção.....	22
3.6 Carvão Ativado .....	23
3.6.1 Métodos de preparação do carvão ativado .....	24
3.7 Açazeiro( <i>Euterpe olearca Mart.</i> ).....	25
3.7.1 Adsorventes obtidos do Açazeiro .....	25
3.8 Cinética de Adsorção.....	27
3.8.1 Modelo de pseudo primeira ordem.....	27
3.8.2 Modelo pseudo- segunda ordem.....	28
<b>4 METODOLOGIA .....</b>	<b>29</b>
4.1 Coleta, Lavagem e Secagem dos Materiais .....	29
4.2 Obtenção de carvão ativado termicamente a 700°C a partir da biomassa do cacho de açaí .....	29
4.3 Ativação química da biomassa do cacho do açaí com NaOH 1:1(m/m) .....	29
4.4 Obtenção da curva analítica .....	30
4.5 Ensaio de dosagem do corante violeta cristal com o CA-700.....	31
4.6 Testes de adsorção do CAQ-500 e CAQI-500 para remoção do VC .....	31
4.7 Efeito da variação do pH na capacidade adsortiva do CA-700 na remoção do VC.....	31
4.8 Cinética de adsorção do VC utilizando o CA-700 e CAQ-700. ....	32
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>33</b>

<b>5.1</b>	<b>Rendimento das carbonizações do CA-700<sup>325</sup> .....</b>	<b>33</b>
<b>5.2</b>	<b>Rendimento da síntese do CAQ-500, e do CAQI-500.....</b>	<b>33</b>
<b>5.3</b>	<b>Curva Analítica.....</b>	<b>34</b>
<b>5.4</b>	<b>Estudo da capacidade de remoção do VC em função da variação de massa de adsorvente do CA-700 .....</b>	<b>35</b>
<b>5.5</b>	<b>Teste de adsorção CAQ-500 e do CAQI-500 na remoção do corante VC.....</b>	<b>37</b>
<b>5.6</b>	<b>Estudo da capacidade de adsorção do CA-700 em função do pH.....</b>	<b>38</b>
<b>5.7</b>	<b>Cinética de adsorção do violeta cristal utilizando o CA-700 e o CAQ-500 ...</b>	<b>39</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>43</b>
<b>7</b>	<b>PERSPECTIVAS DE ESTUDOS POSTERIORES.....</b>	<b>44</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>45</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A transição da manufatura para a indústria mecânica, a partir da Revolução Industrial iniciada na Inglaterra, em meados do século XVIII, trouxe consigo além do aumento da produção e ascensão de novas tecnologias e a mudança no modo de vida das pessoas, uma série de problemas ambientais e consequências à saúde humana (POTT E ESTRELA 2017). No entanto, por volta de 1960 e início de 1970 a questão ambiental começou a ser levantada, e até os dias atuais a temática tem sido pertinente, alcançando evoluções nas políticas públicas, e decisões em âmbito mundial. A poluição dos recursos hídricos por descarte de águas residuais pela atividade industrial, é uma das preocupações do Brasil e da humanidade pelos impactos a saúde humana e ao meio ambiente.

Entre os resíduos mais descartados estão os corantes, por sua grande aplicação em vários substratos como tecidos, couro, papel, cabelo, alimentos, entre outros (ZANONI E YAMANAKA, 2016). No mundo estima-se que todos os anos são produzidos cerca de 700.000 mil toneladas e destes mais de 10.000 mil corantes de variedades distintas são utilizados em processos industriais em diversos ramos (GUPTA E SUHAS,2009). A indústria que mais descarta estes efluentes são, a indústria têxtil, e a alimentícia, sendo esta última responsável no Brasil, pelo consumo de aproximadamente 20 toneladas ao ano de corantes, cerca de 20 % destes descartados como efluentes (DALLAGO, SMANIOTTO, OLIVEIRA 2005).

Os corantes descartados de forma irregular provocam mudanças na coloração dos cursos hídricos mesmo em baixas concentrações, isto acaba provocando sérios danos à fauna e a flora, pois restringem a penetração dos raios solares, o que compromete o processo de fotossíntese natural da biota aquática, provocando alterações como a diminuição da quantidade de oxigênio dissolvido na água (MALARVIZHI E HO 2010; SAEED et al., 2010). Embora a maioria dos corantes sejam inertes, os que são tóxicos podem causar sérios problemas a saúde, como irritações na pele e nos olhos, dermatite alérgica, câncer entre outros malefícios. (MALARVIZHI E HO, 2010; SALLEN et al., 2011; GRANDHIMATHI et al., 2012)

Neste contexto destaca-se a importância do tratamento de efluentes para a questão ambiental e saúde humana. Os métodos de tratamento são diversos, no entanto a adsorção está entre os métodos mais comuns na remoção de efluentes industriais (CHOY et al., 2000; CARVALHO, 2021). Este método consiste na utilização de materiais sólidos com

elevada porosidade para interações com os poluentes em fase aquosa promovendo a sua remoção. Existem diversos sólidos com este propósito, no entanto o carvão ativado (CA) é o mais utilizado no tratamento de efluentes. Uma das razões pode estar relacionada a sua elevada capacidade adsortiva, em função da sua grande área superficial. O CA pode ser obtido por ativação física, a elevadas temperaturas com a carbonização do material desejado, ou por ativação química utilizando-se de um impregnante e depois o aquecimento, geralmente a temperaturas mais baixas que o outro método (SCHNEIDER, 2008; ALENCAR, et al., 2020).

A escolha do material para a síntese do CA é bem ampla, no entanto uma das condições que se exige é que se tenha um material carbonáceo (com elevados teor de carbono) (ALENCAR, et al., 2020). O Açaizeiro (*Euterpe oleracea Mart*) pode fornecer do seu cacho(talo) um importante bioadsorvente. Este é um rejeito biodegradável fibroso que após debulha dos frutos geralmente é deixado no próprio local da colheita (EMBRAPA, 2005; CARDOSO et al., 2011). Diante do exposto a pesquisa buscou verificar a potencialidade do carvão ativado da biomassa do cacho de açaí para a remoção do corante violeta cristal (VC), ou violeta de genciana. Este corante pertence a classe dos triarilmetanos, é catiônico, sendo bem empregado como corante têxtil roxo, indicador de pH, entre outras aplicações (MANI, BHARAGAVA, 2016).

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Buscar a síntese de um material adsorvente de baixo custo e aplicação a partir da biomassa do cacho do açazeiro, visando a remoção de corantes têxteis de efluentes aquosos.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- a) Sintetizar carvão ativado por meio da ativação física;
- b) Avaliar o efeito dos parâmetros: dosagem do adsorvente e pH neste processo;
- c) Sintetizar carvão ativado quimicamente com o hidróxido de sódio (NaOH)
- d) Avaliar a capacidade adsortiva dos diferentes materiais obtidos
- e) Caracterizar os mecanismos cinéticos da adsorção do VC nos diferentes materiais.



### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Breve histórico dos corantes e sua definição**

As cores desde os primórdios sempre despertaram interesse da humanidade. Em diversas ocupações humanas mais antigas, no período pré-histórico, os homens já utilizavam pinturas rupestres para a representação de animais e hábitos corriqueiros, tais como cenas de caça, de pesca, de guerra e de sexo (MELLO, 2012). Na antiguidade, 2600 a.C, é da China que vem as primeiras referências ao uso de corantes naturais. Neste período as cores representavam a diferença social da realeza, o amarelo era utilizado pelo imperador, o violeta, pelas esposas, e azul, vermelho e preto, eram destinadas aos cavaleiros (PEZZOLO, 2021). No Brasil, na idade moderna, por volta de 1502, deu-se o início da exploração do pau-brasil pelos colonizadores portugueses, para fabricação de tinturas (AGOSTINI, et al., 2013).

Até então, os métodos de coloração eram através de pigmentos ou corantes naturais. No entanto, no século XIX, o uso dos corantes naturais entrou em declínio após a descoberta de corantes sintéticos por Perkin em 1856, e foram praticamente inutilizados em 1900 (CRISTEA; VILAREM, 2006; ALEIXO, 2021). Este declínio se deve ao fato de os corantes sintéticos apresentarem um tingimento de qualidade, e a falta de conhecimento técnico preciso sobre a extração e técnicas de tingimento para os corantes naturais, falta de padronização, além de um maior tempo gasto com a preparação da solução corante para o processo de tingimento (SAMANTA; KONAR, 2011; SIVA, APUD SILVA, 2016; ALEIXO, 2021).

Atualmente os corantes são usados principalmente nas indústrias têxteis, alimentícias, nos cosméticos, fármacos, gráficas, entre outros setores da sociedade gerando crescimento econômico e estético para a sociedade atual (ZOLLINGER, 2003). Há uma grande demanda e nos últimos 100 anos, cerca de 10.000 compostos químicos coloridos são sintetizados em escala industrial, dentre estes estimam-se que 2.000 tipos de corantes estão disponíveis para a indústria têxtil (GUARATINI e ZANONI, 2000). Outro dado importante é que no mundo 99,5% dos tecidos são tingidos com corantes sintéticos (BIANCHI, PASSOS, VAITSMAN, 2016).

Os corantes são substâncias que contêm colorações definidas, e que na forma de solução podem intensificar a coloração em substratos. Entre os substratos mais comuns para o tingimento incluem-se, por exemplo, alimentos, medicamentos, papéis, couros, e

principalmente tecidos. Conforme mencionado os corantes podem ser de origem sintética ou natural. Os de origem sintética são usados especialmente para intensificar a coloração de tecidos, sendo derivados do petróleo, do alcatrão ou carvão. Os naturais são de matéria-prima vegetal e animal, são aplicados em substratos como alimentos, tecidos, remédios entre outros (BIANCHI, PASSOS, VAITSMAN, 2016).

### 3.2 Corantes têxteis

Os corantes podem ser classificados de acordo com a sua estrutura química (antraquinona, azo etc.), ou de acordo com o método pelo qual ele é fixado a fibra têxtil. Os principais corantes classificados pelo modo de fixação são destacados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Características químicas e físicas dos corantes têxteis

Tipos de corantes	Características principais
Corantes reativos	<p>Possuem um grupo eletrofilico reativo sendo capaz de formar ligações covalentes com fibras celulósicas, hidroxilas, tióis etc.</p> <p>As funções químicas comuns são a azo, a antraquinona como grupos cromóforos e reativos a clorotriazinila e sulfatoetilsulfonila.</p> <p>Possuem alta solubilidade em água</p>
Corantes Diretos	<p>Realizam interações de Van der Waals com fibras de celulose (algodão, viscose etc.).</p> <p>Constituídos por mais de um grupo azo (diazó, triazo etc.).</p> <p>São solúveis em água e suas afinidades podem ser aumentadas com o uso de eletrólitos.</p>
Corantes Azóicos	<p>Permite um método de tingimento de fibras celulósicas (especificamente alongadas).</p> <p>São produzidos a partir de reação com um sal de diazônio (<math>RN_2^+</math>) com um agente de acoplamento na fibra.</p> <p>São compostos coloridos, e insolúveis em água, mas seus agentes de acoplamento no tingimento são solúveis.</p>
Corantes Ácidos	<p>Grande grupo de corantes aniônicos realizam troca iônica envolvendo par de elétrons livres de grupos amino e carboxilato das fibras proteicas não- protonadas.</p> <p>São constituídos de compostos azo, antraquinona, triarilmetano etc.</p> <p>Seus grupos ionizáveis tornam-nos solúveis água.</p>
Corantes Básicos	<p>São catiônicos e podem ter carga positiva localizada em um grupo amônio ou uma carga deslocalizada em corantes de triarilmetano, xantenos e acridina.</p> <p>São atraídos eletrostaticamente por substratos com carga negativa.</p> <p>São solúveis em água e produzem soluções coloridas de cátions.</p>
Corantes á cuba	<p>Classe de corantes baseada nos índigos, tioindigóides, e antraquinóides. São reduzidos com ditionito, em solução alcalina, e depois oxidados para sua produção.</p> <p>São praticamente insolúveis em água, porém na forma leuco durante sua redução tornam-se solúveis</p>

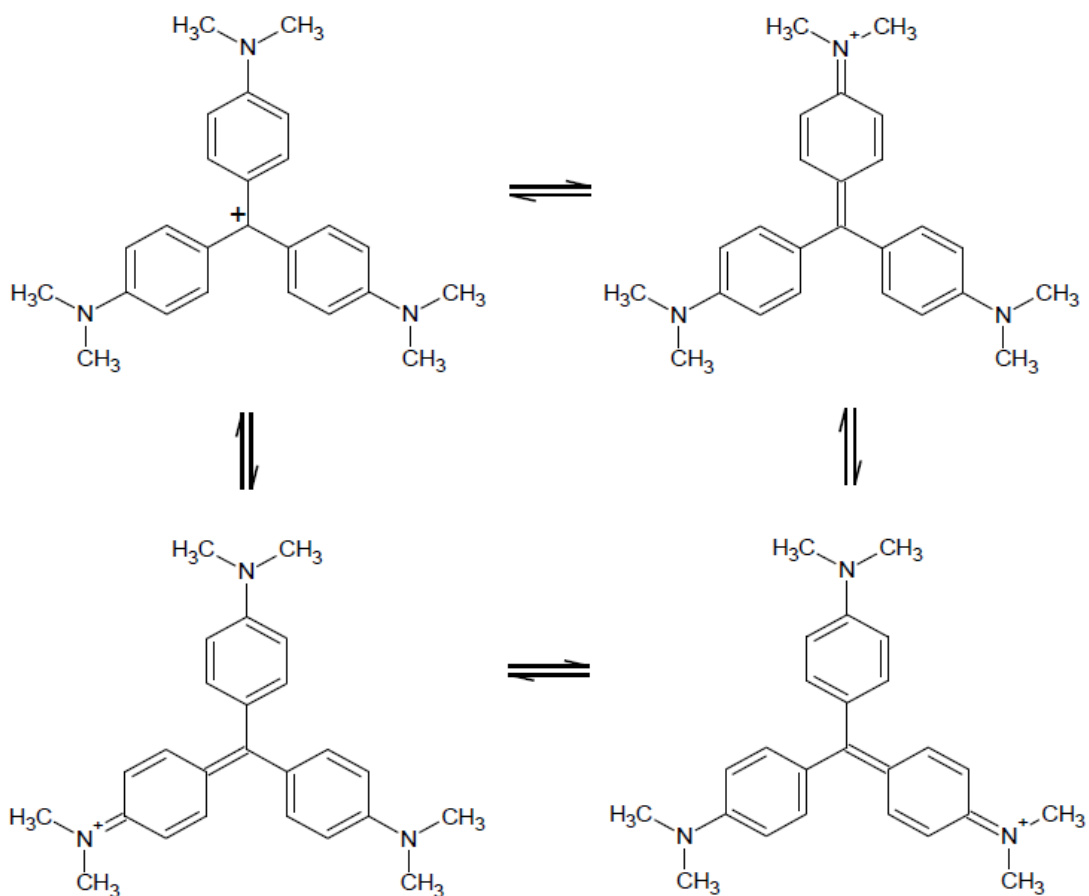
Corantes de Enxofre	Classe de compostos macromoleculares com pontes de polissulfetos (-S <sub>n</sub> <sup>-</sup> ). São pré-reduzidos com ditionito de sódio, (tornando-se solúveis) e posteriormente reoxidados em contato com o ar em sua produção. São altamente insolúveis em água.
Corantes Dispersos	São aplicados em fibras de celulose e outras fibras hidrofóbicas através de suspensão. Na sua obtenção, sofre hidrólise, depois precipitação na forma dispersa sobre o acetato de celulose. São insolúveis em água.
Corantes Metalizados Pré-	Possuem um grupo hidroxila ou carboxila na posição orto em relação ao cromóforo azo, possibilitando a formação de complexos com íons metálicos. É utilizado para tintura de fibras proteicas e poliamida. Solúveis em água.
Corantes Branqueadores	Apresentam uma aparência amarelada por absorver luz em um baixo comprimento de onda. Apresentam grupos carboxílicos azometino(-N=CH-) ou etilênicos-(CH=CH-) aliados a sistemas benzênicos, naftalênicos, entre outros grupos.

Fonte: Adaptado de (GUARATINI et al., 2000) e (El HARFI et al., 2020).

### 3.3 Corante Têxtil Violeta Cristal (VC)

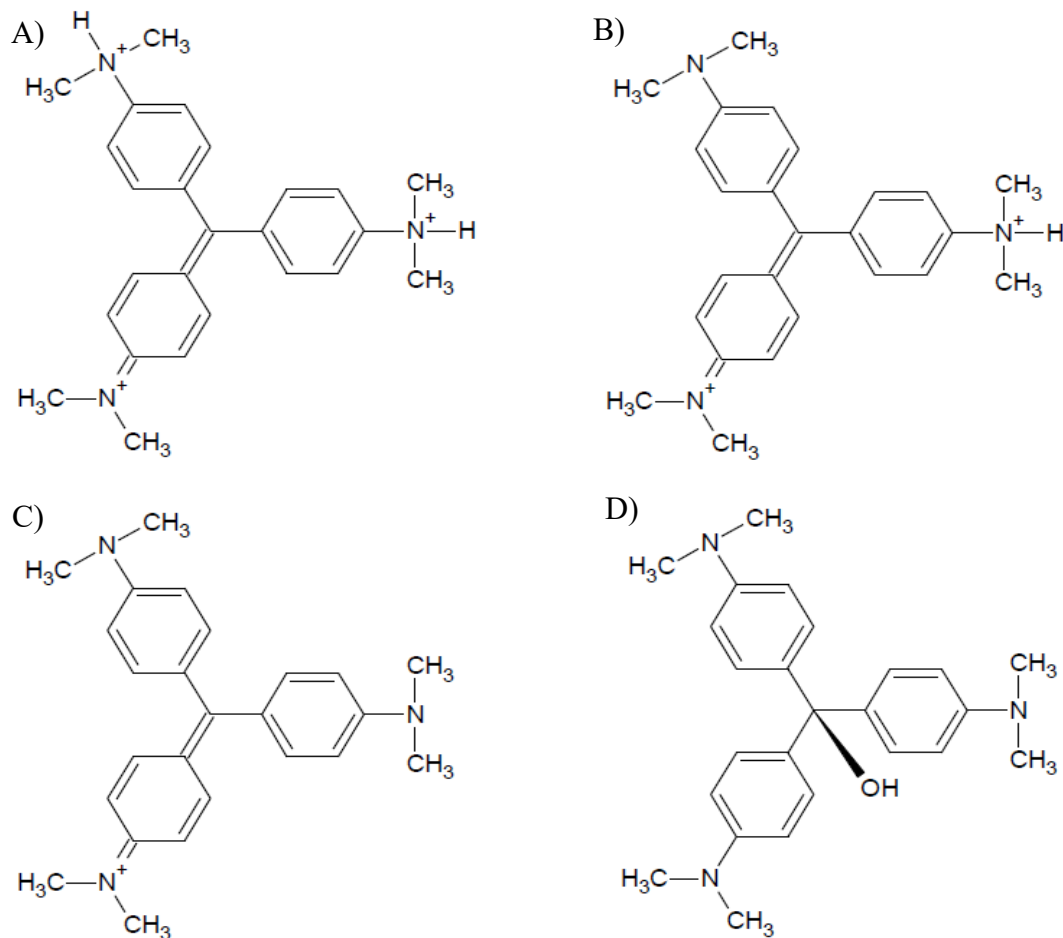
O corante violeta cristal (VC), C<sub>24</sub>H<sub>39</sub>N<sub>3</sub>Cl (Figura 1), ou violeta genciana é um corante catiônico bastante empregado em processos industriais tendo seu uso amplo desde 1890 (BALABANOVA, POPOVA, TCHIPEVA, 2003; SAQUIB 2003). Os corantes básicos desta classe, como o violeta, geralmente são brilhantes, e mesmo em concentrações menores que 1 mg/L podem já apresentar coloração em solução (BAJPAI; JAIN, 2012). Na medicina é bem utilizado, pois é um importante agente identificador de bactérias. É também utilizado em desinfetantes de intensidade moderada, sendo empregado como agente antisséptico e antimicótico, também em infecções, particularmente as oriundas de bactérias gram-positivas, e outros patógenos como, por exemplo a *Candida sp* (DOCAMPO, 1990; SANTOS et al., 2005; MORI E CASSELLA, 2009). O VC é tóxico a saúde humana, nocivo quando ingerido, carcinogênico, e ainda pode causar lesões oculares, e na pele (GÓES 2013). Além de não ser biodegradável por causa da sua coloração, pode inibir a fotossíntese, e afetar as condições aquáticas do ecossistema (BAJPAI; JAIN, 2012)

**Figura 1.** Estruturas de Ressonância do corante violeta cristal



Fonte: GÓES, 2013

O corante VC apresenta vários equilíbrios de protonação, conforme demonstrado na próxima página, Figura 2. Em pH bem ácido, igual ou menor que 1, sua absorvância máxima é 620 nm e adquire coloração verde. Nesta região os três átomos de nitrogênio apresentam-se carregados positivamente, dois dos quais na forma protonada conforme a ilustração da Figura 2a. Em valores de pH próximos de 2, um dos hidrogênios sofre desprotonação e a molécula fica com duas cargas positivas (Figura 2b), e sua absorvância passa a ser em 595 nm (comprimento de onda absorvido), adquirindo coloração azulada. Em pH próximos a 7 os átomos de nitrogênio estão desprotonados sendo liberados na solução, promovendo ao corante uma carga positiva (Figura 2c). A sua máxima absorvância fica em 589 nm. No pH próximo a 14, as hidroxilas realizam um ataque ao carbono central(nucleófilo), produzindo o trifenilmetanol, que é incolor conforme demonstrado na Figura 2d (GÓES, 2013).

**Figura 2.** Equilíbrios de protonação do corante

Fonte: GÓES, 2013

### 3.4 Impactos ambientais e para saúde

Conforme já mencionado os corantes possuem grande aplicação nas indústrias de papéis, plásticos, tapete, couro, destilaria, impressão e têxtil. Estima-se que anualmente, são produzidas cerca de 700.000 mil toneladas de corantes, e estão disponíveis no mercado uma quantidade de 100.000 corantes. (YAGUB, SEM, ANG, 2012). Esta grande empregabilidade proporciona, no entanto, uma grande poluição, principalmente na indústria têxtil, uma vez que em seus processos de síntese, utilizam-se de uma quantidade considerável de efluentes coloridos para a produção do corante (MOHAM et al. 2002; ÇORUH et al. 2012; GRANDHIMATHI et al. 2012; GUARATINI, ZANONI, 2000).

Para se ter uma melhor ideia em relação ao impacto causado pelos corantes estimativas indicam que, aproximadamente, 12 % dos corantes têxteis usados a cada ano são perdidos durante a manufatura e o processo de operação, e 20 % destes acabam entrando no ambiente através dos efluentes. Acredita-se, ainda, que 50 % dos corantes são perdidos no processo de tingimento devido ao baixo nível de fixação do corante à

fibra (GANDHIMATHI et al., 2012; GUARATINI; ZANONI, 2000; SALLEH, et al, 2011; ZANONI; CARNEIRO, 2001). Este fato torna-se preocupante, pois os corantes são constituídos por moléculas aromáticas de estruturas complexas, o que os torna resistentes à luz, à temperatura, ao calor, aos agentes oxidantes e a digestão aeróbica. A sua resistência a passagem de luz em solução, mesmo em concentrações baixas afeta a vida aquática podendo causar a bioacumulação. (ANNADURAI et al, 2002; MOHAN et al, 2002; SAEED et al., 2010; SALLEH et al., 2011; ÇORUH et al, 2012; GRANDHIMATHI et al, 2012; SAIKIA et al, 2013).

Os corantes em sua maioria não são tóxicos. No entanto a classe dos corantes tóxicos pode causar muitos problemas à saúde, como irritações na pele e nos olhos, dermatite alérgica, cianose, câncer e mutação ao homem, além de causar disfunção renal, no fígado e no sistema reprodutor. É importante destacar que os que apresentam estrutura aromática quando se degradam seus produtos são geralmente cancerígenos (MALARVIZHI E HO, 2010; SALLEN et al, 2011; GRANDHIMATHI et al, 2012 OLIVEIRA, et al., 2014).

### **3.5 Técnicas usadas para o tratamento de efluentes têxteis**

O tratamento de efluentes têxteis podem ser por processos físicos, químicos ou até biológicos. Entre as principais técnicas de tratamentos estão a coagulação/floculação, a adsorção e a remoção biológica (ANTUNES, 2010). A adsorção é o método mais comum utilizado na remoção dos corantes de efluentes industriais, sendo considerada uma técnica superior em comparação aos outros métodos de tratamento de resíduos, por causa do baixo custo, simplicidade de concepção e funcionamento, disponibilidade, eficácia, além de não gerar substâncias tóxicas após o tratamento (CHOY et al., 2000).

#### *3.5.1 Adsorção*

A adsorção é uma técnica muito empregada no tratamento de efluentes industriais, seja com a finalidade de reduzir os níveis de corante e outros poluentes neste meio, seja para a purificação de gases, ou para fracionar fluidos difíceis de separar por outros métodos (AHMARUZZAMAN, SHARMA, 2005; BORBA, 2006). Este fenômeno físico-químico é constituído por componentes no estado gasoso ou líquido que são conduzidos do fluido para a superfície do sólido por meio de forças físicas ou químicas. A espécie que se acumula na superfície do sólido e denominada adsorbato ou adsorbato, e o sólido que permite a acumulação é chamado de adsorvente. A tentativa de compensar

as forças atrativas na superfície do adsorvente faz com que as moléculas da fase fluida sejam atraídas para a zona interfacial do mesmo (RUTHVEN, 1984).

Alguns fatores podem influenciar o processo de adsorção, tais como (ZANELLA, 2012):

**Características do adsorvente:** área superficial, estrutura dos poros e química da superfície (grupos funcionais), tamanho das partículas e distribuição granulométrica.

**Características do adsorvato:** massa molar, solubilidade e natureza dos grupos funcionais;

**Características químicas da solução:** o pH que influencia na carga da superfície do adsorvente e no grau de ionização do adsorvato; e

**Temperatura:** influencia na velocidade da adsorção.

### 3.5.2 Natureza da adsorção

Segundo Nascimento et al. 2014, a retenção do adsorvato sobre o adsorvente ocorre por meio de dois mecanismos físicos-químicos, que depende da natureza das forças podendo ser classificada quanto a sua intensidade em dois tipos: adsorção física (fisissorção) e adsorção química. neste primeiro caso, a ligação do adsorvato a superfície do adsorvente envolve uma interação relativamente fraca, que pode ser atribuída as forças de Van de Waals, que são similares as forças de coesão molecular. Já na adsorção química (quimissorção) envolve-se a troca ou a partilha de elétrons entre as moléculas do adsorvato e a superfície do adsorvente, resultando em uma reação química. Isso resulta essencialmente numa ligação química e, portanto, bem mais forte que no caso da fisissorção.

A adsorção física é preferível a química, pois pode ocorrer a regeneração do adsorvente por causa da formação de múltiplas camadas (RUTHVEN, 1984). Na Tabela 2 lista-se algumas diferenças principais da adsorção física e a química.

**Tabela 2.** As principais características da quimissorção e fisissorção.

Adsorção Química	Adsorção Física
Os adsorventes sofrem modificações na superfície;	Os adsorventes não sofrem modificações na superfície;
Apresenta somente monocamadas;	Apresenta mono ou multicamadas;

Altamente específica;	Não específica;
Quase sempre irreversível;	Quase sempre reversível;
Alto calor de adsorção;	Baixo calor de adsorção;
Por transferência de elétrons;	Sem transferência de elétrons;
Por ligações covalentes, iônicas e forças eletrostáticas.	Por força de Van de Waals.

---

**Fonte:** Adaptado de Teixeira et al, 2001 e Nascimento et al. 2014.

Apesar destas diferenças entre a quimissorção e a fisissorção, um conceito não anula o outro, podendo haver a coexistência dos dois mecanismos e não serem completamente independentes (ADAMSON; GAST, 1997).

### 3.6 Carvão Ativado

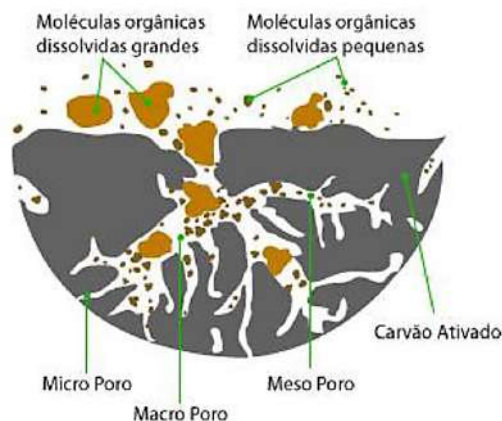
Os carvões ativados (CA) estão sendo empregados cada vez mais como adsorventes no tratamento de água residual e de efluentes industriais, além de servirem como catalizadores e de suporte para eles (SCHNEIDER, 2008). O CA pode interagir bem com diversos materiais, sendo capaz de adsorver moléculas de diversos tamanhos sem modificar a estrutura do substrato (SALES, ET AL. 2015). Este é preparado a partir de um material carbonáceo poroso inerte que apresenta uma forma microcristalina, não grafítica e sofre um processamento para aumentar a sua porosidade interna (PEREIRA et al., 2013). Após esta ativação esta porosidade interna pode ser comparada a uma rede de túneis que se bifurcam em canais menores (SILVA, 2012). Os materiais carbonáceos em sua maioria possuem uma certa porosidade, com uma área superficial variando entre 10 e 15  $m^2/g$ , mas com a ativação podem apresentar uma área superficial acima de 800  $m^2/g$  (CLAUDINO, 2003).

A classificação dos materiais adsorventes de acordo com a IUPAC (*International Union of Pure Applied Chemistry*) de 1985, é feita conforme o tamanho dos poros do adsorvente. Os poros com diâmetros maiores que 500 Å; são denominados macroporos, entre 20 Å e 500 Å, mesoporos, e menores que 20 Å são chamados de microporos (Figura 3). Os carvões ativados contêm os poros de todos os tamanhos, porém a proporção relativa varia de acordo com o precursor e o método de fabricação utilizado (MANGUEIRA, 2014). A capacidade do carvão ativado ser um excelente adsorvente está diretamente relacionada a diversos fatores. O material utilizado como matéria-prima para a preparação, a sua área superficial, porosidade, seus grupos funcionais, além das condições



experimentais como o pH, temperatura, tempo, agitação e a presença de contaminantes (ARAÚJO, et al., 2018). Os materiais que podem ser convertidos em carvão são diversos como osso, madeira, lignina, casca de coco, grão de café, bambu, sementes e casca de fruta, carvão mineral e polímeros sintéticos (PEREIRA et al., 2013).

**Figura 3.** Carvão ativado porosidade



**Fonte:** Adaptado de Sulyman et al, 2017 e Lopes 2020.

### 3.6.1 Métodos de preparação do carvão ativado

Para a preparação do carvão ativado geralmente se utiliza dois métodos, a ativação química e a ativação física (NORASHIDDIN et al., 2020). Na ativação química o material primário é impregnado com um agente químico ativante, e depois sofre a pirólise. A pirólise e a ativação química ocorrem em uma única etapa (ANGIN, KOSE, SELENGIL, 2013). Nesta ativação aplica-se temperatura aproximadas a 600 °C. Os materiais ativantes mais utilizados são, sais, ácidos ou bases, como por exemplo, ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), hidróxido de sódio (NaOH), carbonato de potássio ( $K_2CO_3$ ), ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ) entre outros.

Na ativação física o material precursor é carbonizado a uma temperatura alta entre (500 °C a 1000 °C) em atmosfera inerte, a fim reduzir o máximo de subsídios de oxigênio e hidrogênio. Em seguida procede-se o tratamento do produto da pirólise, a mesma temperatura da pirólise ou a temperatura mais elevada, na presença de um gás oxidante, geralmente são utilizados vapor d'água, dióxido de carbono ou mistura dos dois (BOUCHELTA et al., 2008).

Quando se compara os dois métodos, a ativação química possui muitas vantagens em relação a física. Essa metodologia utiliza-se de temperatura mais baixas no processo, simplicidade e menor tempo de ativação, desenvolvimentos da estrutura porosa e o

rendimento da ativação química tende a ser maior (AÇIKYILDIZ, GURSES, KARACA, 2014; ANGIN, KOSE, SELENGIL, 2013).

### 3.7 Açaizeiro (*Euterpe oleracea Mart.*)

O açaizeiro (*Euterpe oleracea Mart.*) é uma palmeira nativa da região Norte (Figura 4), ocorrendo em grandes extensões do estuário amazônico, na parte central e ocidental da bacia amazônica em matas de várzea e igapó do baixo amazônico. Ocorre também no estado do Maranhão, e prolonga-se pelas Guianas e Venezuela (ALMEIDA, 2018; OLIVEIRA, FARIAS, SILVA, 2007). Desta planta se utiliza praticamente tudo, suas raízes, como vermífugo, o tronco, para ripas, caibros, construções rurais, lenha, e celulose, o seu caroço, para produção de mudas e adubo, entre outras aplicações, mas os produtos de maior interesse são os frutos para a produção da polpa e o palmito (SILVA et al., 2005; OLIVEIRA, FARIAS, SILVA, 2007).

**Figura 4.** Pés do Açaizeiro (*Euterpe oleracea Mart.*)



**Fonte:** Autor, 2023

A principal diferença desta palmeira das outras espécies é quantidade de perfilhos. As touceiras de um açazal adulto apresentam em média 13 plantas. O estipe é delgado sem espinho e atinge, em média, 15 a 20 m de altura e 12 a 18 cm de diâmetro (SILVA et al., 2005). Este açaizeiro geralmente floresce no quarto ano após o plantio, depois disso após seis meses, os frutos já estão maduros, prontos para a colheita. Cada palmeira produz anualmente de seis a oito cachos, com média de 24 kg de frutos por planta, que rendem cerca de 10 litros de suco (SILVA et al., 2005).

#### 3.7.1 Adsorventes obtidos do Açaizeiro

A utilização de carvões ativados ou biossorventes com materiais precursores obtidos do açaizeiro são relatados em diversos trabalhos. Pessoa (2019), utilizou um

biocarvão do endocarpo do açaí não ativado, e ativado quimicamente com hidróxido de sódio (NaOH) em proporção de 1:3, para remoção do corante têxtil azul de metileno. A remoção do corante foi muito boa na concentração de 60 mg/L, sendo de 92,58 %, com a utilização de somente 0,03 g de massa do biocarvão ativado. Com o mesmo precursor Souza et al. (2021), realizou a síntese de carvão ativado com o material impregnado não apenas com o hidróxido de sódio, mas também com ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>), ambas na proporção de 1:2, com intuito de remover o corante básico, verde malaquita. A remoção foi muito expressiva sendo utilizadas 50 mg do carvão ativado pelo ácido, que alcançou uma remoção de 91,5 % na concentração de 50 mg/L do corante, e 15 mg do ativado com a base, que removeu 98 % em concentração de 100 mg/L.

O cacho ou talo do açaí é um rejeito biodegradável fibroso, isso corrobora para ser também um promissor material bioadsorvente (CARDOSO et al., 2011), assim sendo, Araújo, et al. (2019), utilizou este bioadsorvente impregnado com hidróxido de sódio, e procedimento de adsorção em leito fixo, e obteve uma ótima remoção do corante rodamina 6G em torno de 99,54 % com a utilização de 10 g de bioadsorvente, na concentração fixa de 200 mg/L de corante. Cardoso (2012), em outro estudo com o mesmo precursor sem a ativação química, e com a impregnação por ácido clorídrico (HCl), utilizou o carvão obtido para remoção dos corantes laranja reativo 16, corante preto reativo 6, vermelho reativo 194, e azul direto. Sem a ativação química a remoção foi razoável, e a capacidade de remoção do bioadsorvente para o corante preto 6, e corante preto reativo 16, foi respectivamente de 52,3 e 61,3 mg. g<sup>-1</sup>. Com a ativação a capacidade tem uma leve melhoria sendo a remoção 72,3 e 156 mg. g<sup>-1</sup>, respectivamente. A pesquisa também apontou que os adsorventes podem ser considerados ótimos bioadsorventes para remoção de tais corantes.

Em outra pesquisa Lopes (2020), se utilizou também do cacho do açaí, mas para a produção de carvão ativado, no entanto não realizou a impregnação, somente a pirólise do material triturado, a partir da carbonização, na remoção do corante amarelo ácido 17, a remoção foi de 180,5 mg de corante utilizando somente 0,5 g de adsorvente e em concentração de 300 mg/L comprovando ser um material promissor para a remoção de efluentes aquosos. Nestas literaturas, no entanto não há estudos com carvão ativado do cacho do açaí na adsorção do corante catiônico têxtil violeta cristal.

### 3.8 Cinética de Adsorção

A velocidade com que um adsorvato é adsorvido depende de diversos fatores e condições operacionais. As características físico-químicas do adsorvato (como sua natureza, seu peso molecular, sua solubilidade entre outras), do adsorvente (natureza, e estrutura dos poros) e da solução (concentração, pH e temperatura) influenciam nesta velocidade (SCHNEIDER, 2008). O controle destes parâmetros cinéticos possibilita otimizar as condições da adsorção, além da obtenção do tempo necessário para o equilíbrio da adsorção.

Estudar estas condições é discutir também o mecanismo da adsorção. Para Shneider (2008), o mecanismo de adsorção depende de alguns fatores, tais como:

- I. Contato entre a camada externa do adsorvente e as moléculas do adsorvato;
- II. Adsorção nos sítios ativos da camada externa do material adsorvente;
- III. Difusão das moléculas do adsorvato;
- IV. Adsorção nos sítios disponíveis da camada interna do adsorvente.

A modelagem cinética linear é amplamente utilizada para avaliar o mecanismo controlador da adsorção. Entre os modelos mais empregados estão os de pseudo-primeira ordem e de segunda-ordem (SIMONIN, 2016).

#### 3.8.1 Modelo de pseudo primeira ordem

O modelo de pseudo-primeira ordem ou modelo de Lagergren, foi a primeira equação de taxa a descrever a cinética de adsorção, sendo utilizada para um sistema de adsorção sólido/líquido, e considera que a velocidade de adsorção é proporcional ao número de sítios livres no adsorvente, sendo que em ambientes competitivos, o acesso do adsorvato aos sítios disponíveis para ocupação, seria a etapa limitante do processo de adsorção (LAGERGREN, 1898; AKSU, 2004; MIMURA et al., 2010; CARVALHO, FUNGARO, IZIDORO, 2010). A equação 1 descreve este modelo.

$$q_{(t)} = q_{eq}(1 - e^{-k_1 t}) \quad (1)$$

onde  $q_t$  é a quantidade de soluto ( $\text{mg. g}^{-1}$ ) adsorvida em um tempo  $t$  (min);  $q_e$  é a quantidade de soluto ( $\text{mg.g}^{-1}$ ) adsorvida quando o equilíbrio é atingido;  $k_1$  é a constante

da taxa de adsorção de pseudo-primeira ordem em ( $\text{min}^{-1}$ ) e  $t$  é o tempo de contato do adsorvato com adsorvente (min).

Neste modelo de pseudo-primeira ordem ao se traçar um gráfico do  $\ln(q_e - q_t)$  versus o tempo ( $t$ ), tem-se uma reta decrescente cujo coeficiente angular é a constante de velocidade ( $-k_1$ ), conforme demonstrada na equação 2.

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (2)$$

### 3.8.2 Modelo pseudo-segunda ordem

A cinética de adsorção também pode ser descrita pelo modelo de pseudo-segunda ordem (PSO) proposto por HO e McKay (1999). A velocidade desta reação depende da quantidade do soluto adsorvido na superfície e da quantidade adsorvida no equilíbrio. A equação 3 expressa este modelo (SANTOS, 2022):

$$q_t = \frac{q_e^2 k_2 t}{1 + q_e k_2 t} \quad (3)$$

onde,  $k_2$  é a constante da taxa de adsorção de pseudo-segunda ordem em ( $\text{g mg}^{-1} \text{min}^{-1}$ ),  $q_e$  é a quantidade de adsorvato no equilíbrio em ( $\text{mg g}^{-1}$ ) e  $q_t$  representa a quantidade adsorvida no tempo  $t$ . A forma linearizada para uma adsorção de pseudo segunda ordem é demonstrada na equação 4.

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{q_e^2 k_2} + \frac{1}{q_e} t \quad (4)$$

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Coleta, lavagem e secagem dos materiais

Inicialmente foram coletados os resíduos dos cachos de açaí (*Euterpe olearca Mart.*) em uma pequena plantação localizada na rua Almirante Tamandaré, Bairro da Paz no município de Marabá-PA. Em seguida os materiais foram lavados com água corrente, onde permaneceram de molho por 24 horas para a remoção dos materiais indesejáveis. Depois disso, foram secos ao sol durante 24 horas, e levados para estufa para completa secagem durante um período de 48 h com temperatura de 80 °C. Após a secagem o mesmos foram triturados em moinho de facas modelo NL-226/02 (NewLab, Brasil), e adicionados em frascos plásticos para uso em etapas posteriores.

### 4.2 Obtenção de carvão ativado termicamente a 700°C a partir da biomassa do cacho de açaí

Na etapa seguinte os materiais foram submetidos ao processo de carbonização. Em cada carbonização, pesou-se 50 g da biomassa e transferiu-se para um cadinho de 15 cm de comprimento, 8 cm de diâmetro e paredes de 1 cm de espessura. Este foi levado a um forno mufla de marca MAGNUS de tacha de aquecimento de 10 °C min<sup>-1</sup>, durante um tempo de 2 h na temperatura de 700 °C. Após o resfriamento o material foi macerado em um almofariz com pistilo, classificada na peneira de granulometria do tipo Tyler (Bertel, Brasil) a 325 mesh, e intitulado de CA-700.

O rendimento das carbonizações foi calculado conforme a equação 5.

$$R\% = \frac{m_f}{m_i} * 100 \quad (5)$$

onde R% é o rendimento percentual,  $m_f$  é a massa do carvão ativado após a síntese, e  $m_i$  é a massa do material antes do processo.

### 4.3 Ativação química da biomassa do cacho do açaí com NaOH 1:1 (m/m)

Para a síntese do carvão ativado quimicamente com hidróxido de sódio (NaOH) na proporção em massa 1:1, foram utilizadas duas rotas de ativação. A primeira utilizando o material carbonizado obtido na etapa anterior (CA-700) sem a classificação, e a outra partindo do material *in natura*. O processo iniciou-se pesando 25 g do material *in natura* em um béquer de 50 ml, e 25 g do hidróxido de sódio (NaOH), em um outro béquer de plástico de mesma capacidade. Logo depois, transferiu-se ambas para um béquer maior

de plástico de 200 ml, e misturou-se manualmente, com o auxílio de uma espátula. Depois disso, adicionou-se água destilada pouco a pouco, seguindo por homogeneização com a espátula durante um período de 2 h até a obtenção de uma textura pastosa e homogênea da amostra conforme indicada na Figura 5. A pasta formada foi levada para a estufa, e seca por um período de 12 h a 130 °C. Em seguida foi carbonizada a 700 e 500 °C na mufla durante 2 h. Após a secagem o material foi lavado com uma solução de HCl 0,1 mol/L e água destilada até alcançar pH 7,0. Depois o material foi levado novamente a estufa e seco por 4 h a temperatura de 100 °C. Por fim, ele foi pesado para obtenção do rendimento, macerado, classificado em 325 mesh e nomeado de CAQI-500. O mesmo procedimento foi realizado com uma amostra da biomassa carbonizada, no qual foi denominada CAQ-500, sendo submetida a queima a 500 °C na mufla durante 2 h. O rendimento de cada carvão também foi calculado pela equação 5.

**Figura 5.** Amostra macerada com NaOH e água destilada.



Fonte: Autor, 2023

#### 4.4 Obtenção da curva analítica

Após a síntese dos materiais foram realizados os testes de adsorção com o corante têxtil catiônico violeta cristal (VC), Synth. Inicialmente foi preparada uma solução estoque padrão de 50 mg L<sup>-1</sup>. A partir desta solução estoque foram preparadas as soluções com volume de 1,5 mL nas concentrações de 1 a 11 mg/L em tubos de *ependorfs* para a construção da curva analítica (calibração). Em seguida, homogeneizou-se a solução e retirou-se uma alíquota de 1,0 mL transferindo-a para uma cubeta de quartzo de caminho óptico de 1 cm. Posteriormente foi feita a análise no espectrofotômetro de marca Bel Spectro S05, com faixa de operação de 320 a 1000 nm. As leituras das absorvâncias foram realizadas no comprimento de onda máximo de 587 nm para o corante VC. Este procedimento foi realizado em triplicata.

#### **4.5 Ensaios de dosagem do corante violeta cristal com o CA-700**

Para o efeito da dosagem do adsorvente, CA-700, preparou-se uma solução estoque de 1000 mg/L do corante VC. Em seguida diluiu-se a solução para a concentração de 200 mg/L, e transferiu-se alíquotas de 100 mL para os erlenmeyers de 250 mL, onde foram adicionados diferentes quantidades do adsorvente, 0,1 g a 1,0 g. Depois disso as soluções foram agitadas dinamicamente em contato com as diferentes quantidades de adsorvente em uma mesa agitadora de agitação orbital marca Fisatom de modelo 786 e série 2090002, durante um tempo de 200 min a 150 rpm e temperatura de 25 °C. Logo após isto foi retirado uma parte da mistura de cada erlenmeyres, e transferida para um tubo de fundo redondo e centrifugado a 5.000 rpm numa centrifuga analógica modelo 80-2B até a completa separação do adsorvente e do sobrenadante. A seguir foi reservado uma alíquota de 2 mL de cada sobrenadante para a realização da leitura das absorbâncias no espectrofotômetro. Para algumas amostras foram necessárias realizar diluições, para minimizar os erros associados a lei de Lambert-Beer. Este procedimento foi realizado em duplicata.

#### **4.6 Efeito da variação do pH na capacidade adsortiva do CA-700 na remoção do VC**

Nesta etapa utilizou-se novamente 100 mL da solução do corante violeta cristal, na concentração de 200 mg/L que foi transferida para um Erlenmeyer de 250 mL. O pH foi ajustado adicionando-se pequenos volumes das soluções de HCl e NaOH nas concentrações HCl 0,1 mol/L, 1 mol/L, e 2 mol/L. As leituras de cada pH foram realizadas no medidor de pH mPA-210 da MS TECNOPOM. Os valores de pH foram ajustados para 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 7,0; 8,0 e 9,0; 10,0, e utilizou-se 0,5 g do CA-700 para cada solução ajustada, que foi submetida a agitação a 150 rpm na mesa agitadora por 200 min e temperatura de 25 °C. Por conseguinte, a separação do sobrenadante e a leitura das absorbâncias novamente foi realizada sob as mesmas condições citadas. Este procedimento também foi feito em duplicata.

#### **4.7 Ensaios de adsorção do CAQ-500 e do CAQI-500 na remoção do VC**

Os ensaios de adsorção foram realizados com os carvões ativados quimicamente, no intuito de verificar se houve melhoria na remoção. No ensaio com o CAQ-500 e o CAQI-500, utilizou-se a solução nas concentrações de 200 mg/L e 300 mg/L obtidas a partir da solução estoque de 1000 mg/L. Em seguida retirou-se duas alíquotas de 100 mL

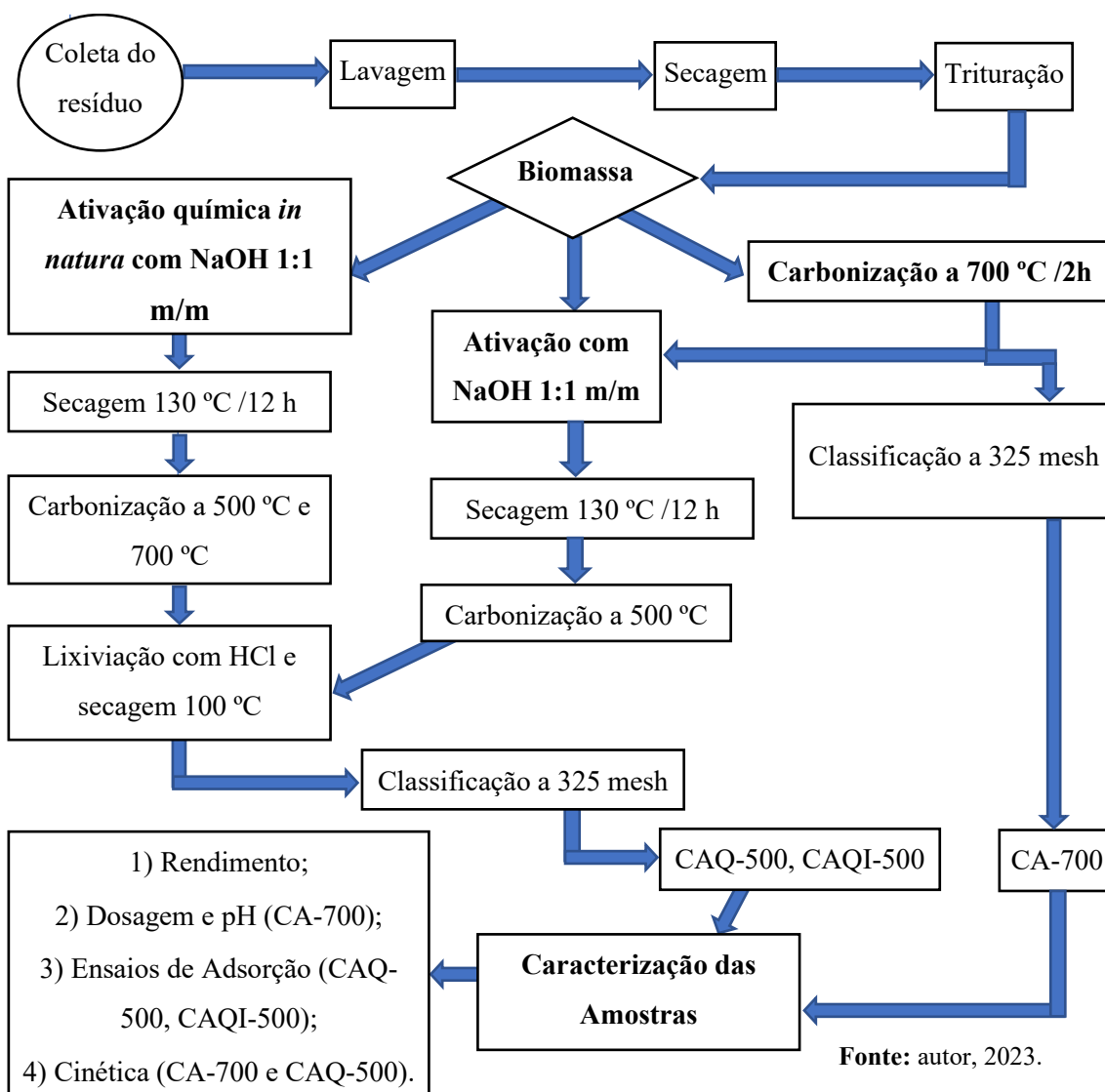


de cada solução para dois erlenmeyers diferentes de 250 mL, e adicionou-se respectivamente 0,3 e 0,4 g de ambos os adsorventes em cada Erlenmeyer. Imediatamente as amostras foram submetidas a agitação, centrifugadas e analisadas nas mesmas condições citadas anteriormente.

#### 4.8 Cinética de adsorção do VC utilizando o CA-700 e CAQ-500.

Após o término do estudo de pH foi realizado o estudo de cinética para determinar o tempo de equilíbrio e mecanismo do processo de adsorção do corante violeta cristal. Foram utilizadas alíquotas da solução de corante de 300 mg/L que foram adicionadas em 17 frascos tipo Erlenmeyer de 250 mL. E utilizou-se 0,3 g do carvão carbonizado ativado fisicamente, o CA-700, em cada frasco sob a agitação de 150 rpm a 25 °C e pH da solução do corante igual a 4. O mesmo método foi realizado para o CAQ-500 e em duplicata para ambos os carvões. As demais etapas também foram executadas conforme detalhado previamente. A Figura 6, apresenta resumidamente todas as etapas de síntese e a caracterização do material realizadas nesta pesquisa.

Figura 6. Fluxograma de cada etapa realizada



## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Rendimento das carbonizações do CA-700<sup>325</sup>

Na Figura 7 é apresentado o aspecto visual do CA-700 após a etapa de carbonização da biomassa, com boa uniformidade. O rendimento médio obtido nas nove carbonizações foi de 23,85 % similar ao rendimento obtido por Lopes (2020). Nestas mesmas condições de síntese e mesma biomassa Lopes obteve uma excelente remoção em torno de 99,98 % para o corante aniônico amarelo ácido 17. Estes resultados sugerem que o material possui viabilidade para remoção de corantes em efluentes aquosos.

**Figura 7.** CA-700 após a etapa de carbonização



Fonte: Autor, 2023

### 5.2 Rendimento da síntese do CAQ-500, e do CAQI-500

Com o aumento da temperatura de síntese do CAQI-500 para CAQI-700 é verificado uma diminuição do rendimento do carvão, devido a perda de massa pela combustão dos materiais. Almeida (2015) reportou que na síntese de carvão ativado obtida da biomassa do pecíolo(talo) do buriti impregnado com NaOH (1:1) e carbonizado nas temperaturas de 500 e 600 °C, obteve-se menor rendimento na maior temperatura, similar ao resultado obtido no presente estudo. A quantidade de carvão obtida após a carbonização do material impregnado com NaOH e carbonizado a 700 °C foi desprezível, quando comparada ao CAQI-500, sendo observado apenas o sólido de aspecto branco ao final associado ao NaOH (Figura 8a). Desta forma, esta condição de síntese foi desprezada. As Figuras 8b e 8c mostram o aspecto do carvão com a adição de NaOH após a etapa de carbonização.

**Figura 8.** Materiais obtidos após a carbonização: do A) CAQI-700 B) CAQ-500 C) CAQI-500

Fonte: Autor, 2023

A Tabela 2 mostra que o rendimento de síntese do CAQI-500 foi de 4,5 %, sendo inferior ao obtido por SANTOS (2021) em sua pesquisa, que reportou um rendimento de 8,20 % na síntese do carvão ativado quimicamente com NaOH (1:1 m/m) da biomassa da castanha do Pará, a temperatura de 600 °C. Este resultado provavelmente está associado as propriedades físico-química distintas dos materiais precursores utilizados, como por exemplo a maior densidade da biomassa da castanha do Pará, e por conseguinte apresenta uma maior resistência a degradação pela base.

**Tabela 3.** Rendimentos e Massa finais dos carvões ativados quimicamente com o CAQ-500 e o CAQI-500.

CAQ-500		CAQI-500	
Massa final(g)	R (%)	Massa final(g)	R (%)
13,7013	13,1	1,120	4,480

Fonte: Autor, 2023

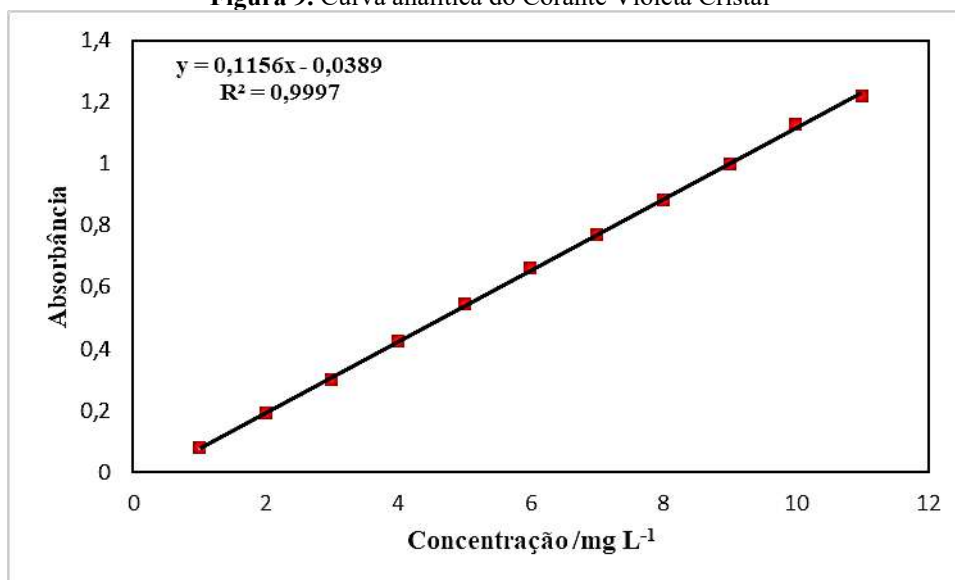
O CAQ-500 conforme o esperado apresentou um rendimento maior do que o CAQI-500, sendo 13,1% (Tabela 3). O carvão ativado do material *in natura* pelo contato direto com NaOH sofre uma perda de massa maior devido á desidratação e a despolimerização da biomassa (BRANDÃO, QUEIROZ, SILVA, 2020; OGUNGBENRO et al. 2020,). Este rendimento é abaixo do rendimento obtido por SANTOS (2021) para síntese do carvão da biomassa da castanha do Pará, pré-carbonizada a 500 °C, impregnada com o NaOH, e carbonizada novamente a mesma temperatura. Além de serem precursores diferentes, o método de contato entre a substância ativante e o precursor (maceração ou impregnação) pode explicar esta diferença, haja visto que estes parâmetros influenciam diretamente o rendimento da síntese do material.

### 5.3 Curva Analítica

A Figura 9 apresenta a curva analítica obtida nesse estudo, na faixa de concentração de 1 mg/L a 11 mg/L. o ajuste linear apresentou ótima linearidade nesta faixa com o coeficiente de correlação  $r^2$  igual a 0,9997, e intercepto próximo de zero,

igual a 0,0389. Foi observado que para concentrações superiores ocorrem um desvio de acordo com a lei de Lambert-Berr, devido ao alto coeficiente de absorvidade molar do corante VC. Em função disso para leituras de concentrações mais elevadas realizou-se diluições.

**Figura 9.** Curva analítica do Corante Violeta Cristal



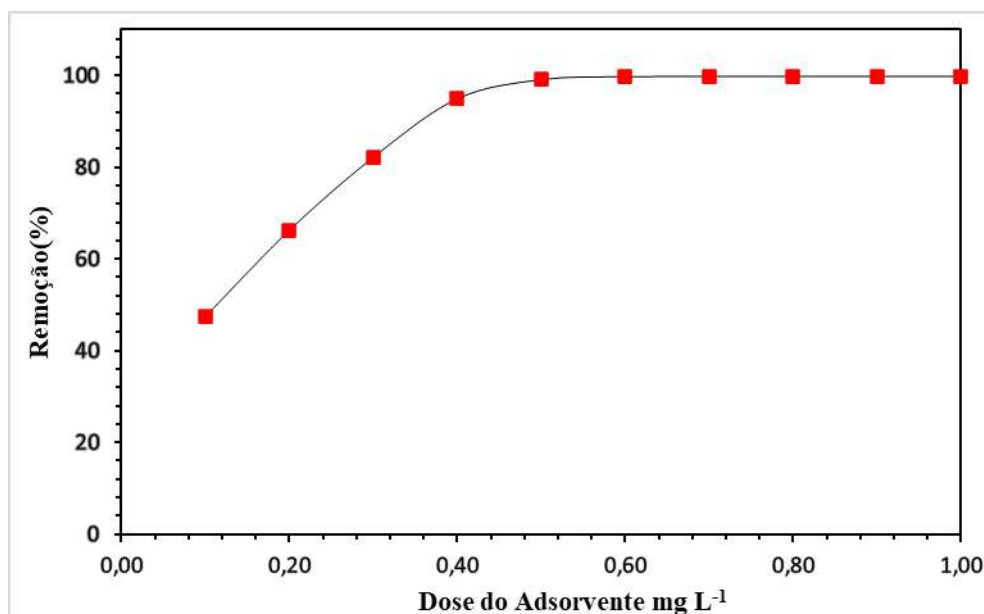
Fonte: Autor, 2023

#### **5.4 Estudo da capacidade de remoção do VC em função da variação de massa de adsorvente do CA-700**

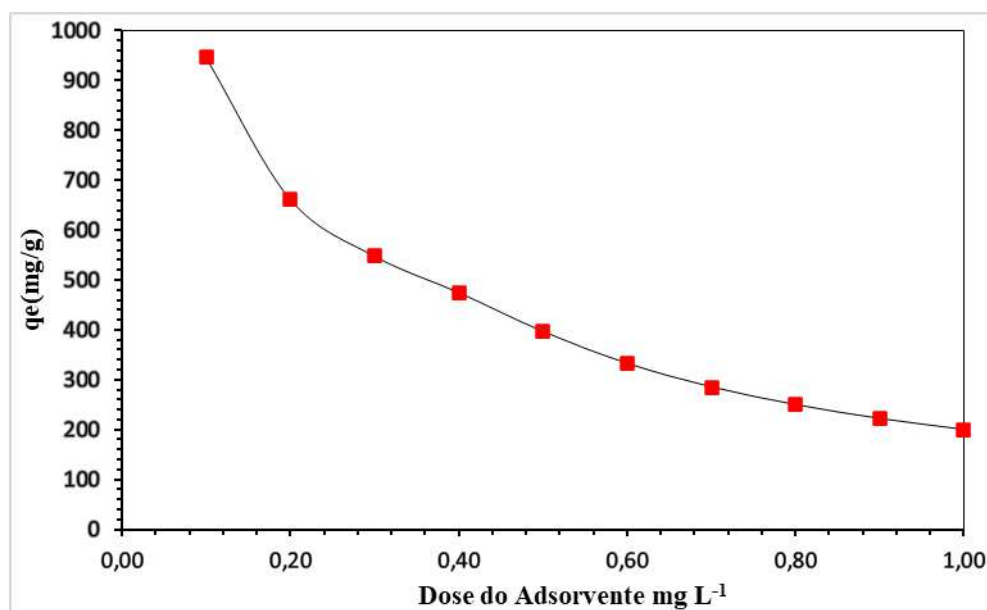
O efeito da massa de adsorvente na faixa de 0,1 a 1,0 g para a remoção do VC em 200 mg/L a 200 rpm e 25 °C, é mostrado na Figura 10. Na faixa de 0,1 a 0,4g há um aumento da remoção devido à grande disponibilidade de sítios de adsorção, no qual à medida que eles são ocupados o processo de dessorção é favorecido devido a atuação de forças repulsivas, forças laterais entre os adsorvatos. No entanto, o aumento demasiado da massa promove a aglomeração do sólido, reduzindo a área superficial e a adsorção do material (Figura 8a). Nas faixas de 0,6 a 1,0 g é observado uma saturação do material, e a adsorção permanece constante.

**Figura 10.** Capacidade adsortiva em percentual do CA-700 (A), e no equilíbrio,  $q_e$ , (B) ambas em função da variação de massa no corante VC, a 200mg/L, pH=4.16, 20 °C, 325 mesh, e 150

A)



B)



Fonte: Autor, 2023

A partir do estudo observa-se ainda que em 0,5 g do adsorvente, a remoção do VC é de 198,3 mg/L (Figura 8a). Os resultados foram muito superiores ao de Dávila, Nunes Fêris, (2019) para a remoção do mesmo corante com o carvão ativado granular (CAG) da Synth. Neste estudo de Dávila et al. as quantidades de carvão foram variadas de 0,5 a 3,0 g para a concentração de 100mg/L de corante, e apresentou a melhor remoção em dose elevada de adsorvente sendo em 3 g, com capacidade adsorptiva de 78,26 mg. Em outro

estudo, Bazzo (2015), utilizando um biosorvente do caroço de abacate como adsorvente, realizou a dosagem entre 10 e 200 mg do adsorvente com volume e concentração do corante em 25 ml e 100 mg/L, respectivamente. A maior quantidade de corante removida foi em 100 mg do adsorvente (0,1 g) com remoção de 95 mg/L, resultado um pouco menor ao obtido com a mesma quantidade de adsorvente em 0,1g (101 mg/L) no presente estudo. Assim, nos estudos de pH foi utilizada a quantidade de 0,5 g de adsorvente.

### 5.5 Ensaios de adsorção CAQ-500 e do CAQI-500 na remoção do corante VC.

A Tabela 4 mostra a eficiência adsortiva dos carvões ativados quimicamente pelos dois métodos para o VC, para as massas de 0,3g e 0,4g, nas concentrações de 200 mg/L e 300mg/L. Os ensaios indicam uma melhoria significativa na remoção, para os materiais ativados com NaOH, quando comparado com o material CA-700. Este material remove cerca de 94,5% utilizando 0,4g de adsorvente (Figura 8a) para a concentração de 200 mg/L de VC, enquanto os carvões CAQ-500 e CAQI-500, apresentam capacidade adsortiva de 99, 8% (Tabela 4). No entanto, o aumento da concentração de corante para 300 mg/L de VC e a redução de massa para 0,3 mg, não reduz a capacidade adsortiva dos materiais CAQ-500 e CAQI-500, sendo observado uma excelente remoção de 97,5 e 99,4 %, respectivamente. Se compararmos com o material CA-700 numa concentração inferior (200 mg/L) e massa de 0,3 g a remoção é de apenas 82 %. Este comportamento está relacionado à presença de carbonilas conjugadas a anéis aromáticos que surgem durante a ativação com NaOH, contribuindo ao perfil básico da superfície do adsorvente (ALMEIDA, 2015) e promovendo a interação com VC.

**Tabela 4.** Carvões ativado quimicamente com NaOH, o CAQ-500 e o CAQI-500 nas quantidades de 0,4 e 0,3g na remoção do corante VC em 200 mg/L e 300mg/L e porcentagem de remoção, na temperatura de 25 °C, 150 rpm e tempo de contato de 200 min.

Adsorvente	Massa (g) do Adsorvente	Concentração	Remoção (%)
CAQ-500	0,4 g	200 mg/L	99,83
CAQI-500	0,4 g	200 mg/L	99,83
CAQ-500	0,3 g	300 mg/L	97,53
CAQI-500	0,3 g	300 mg/L	99,45

Fonte: Autor, 2023.

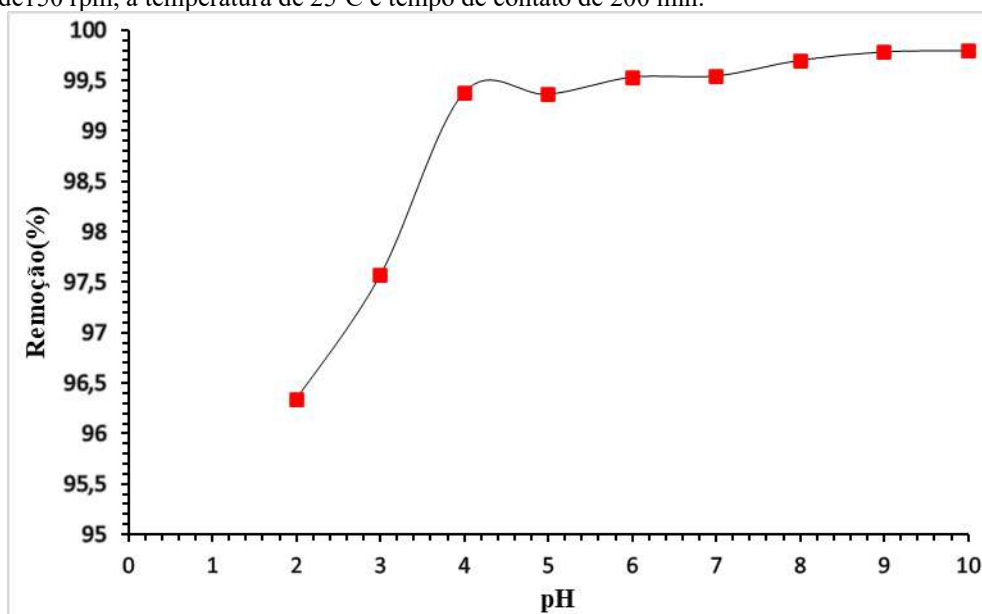
Sobre as mesmas condições de síntese e mesmo precursor, o CA-700, foi utilizado para remoção do corante aniônico amarelo ácido 17 e alcançou uma remoção de 180,45

mg na concentração de 300 mg/L, utilizando 0,5 g (LOPES, 2020). Esta diferença na remoção, de aproximadamente 18 mg (Figura 8a), pode indicar que o carvão após a pirólise possui grupos de superfície com caráter mais predominante aniônico, o que favorece a interação com corantes catiônicos como no caso do VC (ALMEIDA, 2015). Além disso, o corante amarelo ácido tem maior massa molar,  $551,29 \text{ g mol}^{-1}$  do que o VC, que possui massa molar de  $408,00 \text{ g mol}^{-1}$ , e, portanto, necessita de maiores poros no adsorvente para a sua interação.

### 5.6 Estudo da capacidade de adsorção do CA-700 em função do pH

O estudo da capacidade de remoção do VC utilizando o CA-700 em função do pH é mostrado na Figura 11. Em pH próximos de 1,0 a absorção máxima fica em torno de 620 nm, região diferente da analisada para o corante, portanto o pH não foi analisado nesta faixa. O corante neste pH adquire coloração verde e os seus três átomos de nitrogênio adquirem carga positiva. O estudo do pH é importante, pois a sua variação promove mudanças no grau de ionização da molécula adsorvida, e isto afeta a capacidade de adsorção do carvão ativado (ÇORUH et al., 2012).

**Figura 11.** Estudo de pH do corante VC no CA-700 na concentração de 200 mg/L, 0,5 g de adsorvente, rotação de 150 rpm, a temperatura de 25°C e tempo de contato de 200 min.



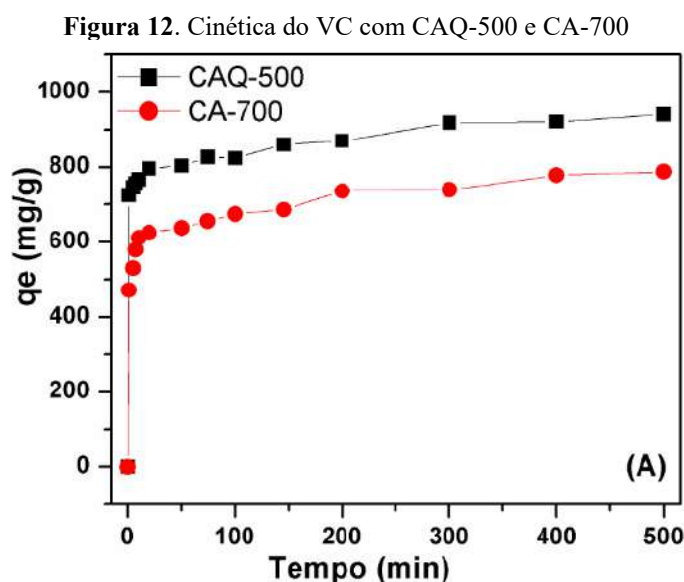
Fonte: Autores, 2023

Em valores de pH 9 e 10 foram observadas as maiores remoções em torno de 99,7%. Estes resultados então em conformidade com diversas literaturas em que apontam uma remoção melhor do corante VC em meio mais básico (SILVA 2014; GUIDA e FALCÃO, 2018; DÁVILA et al., 2019). Isso se deve as interações eletrostáticas da

superfície do adsorvente com as cargas do corante. A remoção tende a diminuir à medida que o pH diminui, sendo observada uma capacidade adsortiva de 96,34 e 97,56%, respectivamente, no pH 2 e 3. De modo semelhante Góes et al. (2013) obteve menores remoções no pH de 1 e 3. Esta menor adsorção pode estar ligada a interações de grupos hidroxilas da superfície do adsorvente com os nitrogênios não protonados do corante. Acima de pH 4 a capacidade adsortiva permanece constante e próxima de 99%.

### 5.7 Cinética de adsorção do violeta cristal utilizando o CA-700 e o CAQ-500

A Figura 12 apresenta o efeito do tempo de contato do VC com os adsorventes CAQ-500 e CA-700 na concentração de 300 mg/L.



Fonte: Autor, 2023

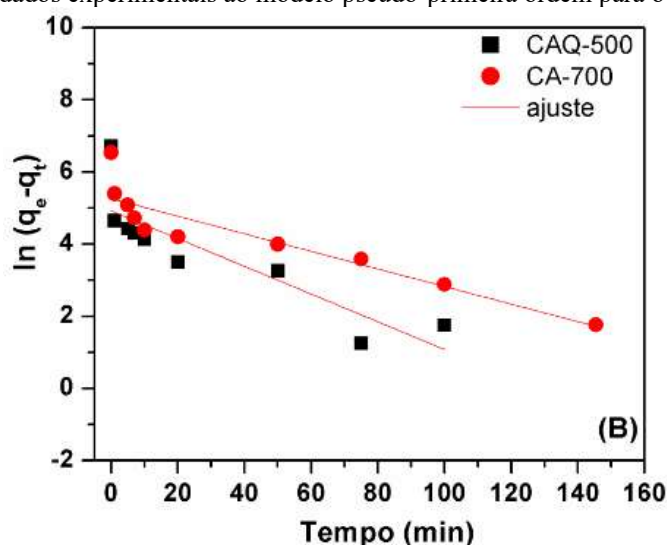
Os intervalos de tempo estudados reforçam novamente a melhoria na ativação com a utilização do NaOH. O CAQ-500 em todos os tempos apresentou maior remoção do que o CA-700 sendo evidenciado pelo  $q_e$ . Ambos os adsorventes apresentam boa interação entre as fases(sólido/liquído), sendo a adsorção do VC muita rápida nos minutos iniciais mais precisamente até o tempo de 20 minutos. Posteriormente tem se uma diminuição na taxa de adsorção. Este perfil ocorre porque a maior disponibilidade de sítios no adsorvente (menor repulsão entre as moléculas do adsorvato e do adsorvente), no entanto conforme vão sendo ocupados (maior repulsão), a dessorção, processo inverso é favorecido, e a velocidade diminui (ABBAS, HARRACHE, TRARI, 2020). O tempo de equilíbrio é de 200-300 minutos para ambos os materiais. Em estudo relatado por Abbas et al. (2020) com carvão ativado da *casca de romã*, o tempo de equilíbrio para a remoção do VC em concentrações variando de 15, 10 e 5 ppm, foi de 60 minutos para



todas as concentrações de corante. Em outro pesquisa Nunes (2014), reporta o tempo de equilíbrio de 140 minutos com o carvão ativado da *casca de amendoim* para remoção do mesmo corante na concentração  $200 \text{ mg. L}^{-1}$ . As diferenças entre os pontos de equilíbrio apontam que o adsorvente influencia diretamente na velocidade do processo. Apesar do tempo de equilíbrio ser maior que outras literaturas apontadas, a remoção próxima de 80% para o CAQ e de 62% para o CA-700 com 20 minutos de contato, indica a maior afinidade com os adsorventes utilizados nesta pesquisa.

A fim de avaliar o mecanismo de adsorção do VC, os dados experimentais foram ajustados conforme as equações não lineares dos modelos cinéticos pseudo-primeira ordem (equação 2) e pseudo-segunda ordem (equação 4). Conforme observado (Figura 13), os dados experimentais desviam da linearidade, utilizando os ajustes de cinética de primeira ordem para ambos os carvões ativados, o que é evidenciado pelo coeficiente de correlação,  $R^2$ , (Tabela 5). Além disso o valor experimental ( $q_{e,exp}$ ), é muito diferente do valor teórico ( $q_{e,cal}$ ), sendo esta condição determinante para aplicabilidade do método (ABBAS et al., 2020).

**Figura 13.** Ajustes dados experimentais ao modelo pseudo-primeira ordem para o CAQ-500 e CA-700

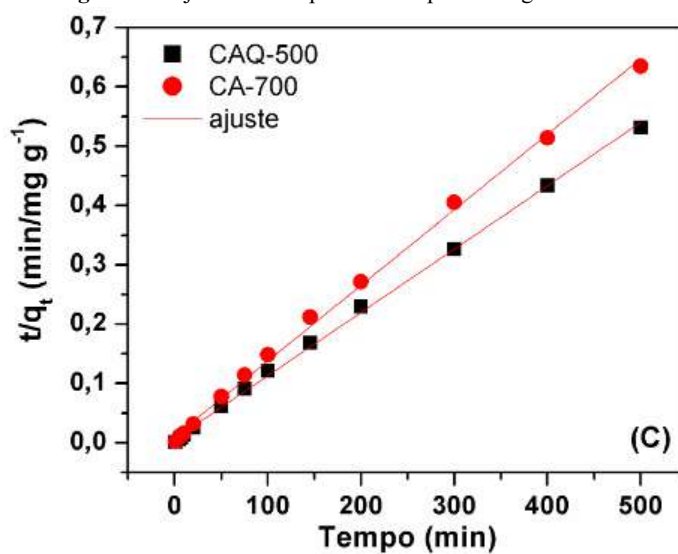


Fonte: Autor, 2023

Os dados experimentais de ambos os adsorventes foram mais bem descritos pelo modelo de pseudo-segunda ordem conforme indicado na Figura 2. O  $R^2$  para o CA-700 e para o CA-500 foram muito próximos de 1, sendo respectivamente igual a 0,9976 e 0,9987, o que indica uma excelente correlação (Tabela 5). Os valores teóricos e experimentais foram também bem próximos. Para o CA-700, O valor experimental,  $q_{e,exp}$ , foi igual  $772 \text{ mg.g}^{-1}$  próximo ao calculado  $787,4 \text{ mg. g}^{-1}$ , já para o CA-500 o  $q_{e,exp}$

foi de  $927 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  e o  $q_{e,\text{cal}}$  é  $934,6 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  também próximo (Tabela 5). Estes dados sugerem que a adsorção do VC é baseada em reação química (quimissorção), envolvendo troca de elétrons (ligação química) entre o adsorvente e o adsorvato. Em diversos estudos com carvão ativado, o VC é reportado obtendo melhores ajustes cinéticos modelo de pseudo-segunda ordem. Alghamdi et al. (2021) estudou o carvão ativado a base de um polímero (polipirrol) ativado com hidróxido de potássio (KOH), Abbas et al. (2020) produziram o carvão ativado a partir da casca de romã ativado com ácido fosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ), Silva, Oliveira, França (2017) sintetizou carvão partindo de capim-elefante, Loulidi et al. (2023) obteve carvão ativado a partir da borra de café ativado com NaOH, e Kamath, Nayak, Sagar (2021) utilizaram carvão ativado de bainha de flor coco, em todos estes trabalhos o mecanismo de PSO se ajustou melhor aos resultados experimentais. A constante de velocidade para o modelo de PSO é igual a  $1,6 \times 10^{-6} \text{ (min/mg g}^{-1}\text{)}$  para o CA-700 e  $1,1 \times 10^{-6} \text{ (min/mg g}^{-1}\text{)}$  para o CAQ-500 (Tabela 5), sendo bem menores do que as constantes do mecanismo de PSO encontradas por Abbas et al. (2020) que utilizou o carvão ativado da casca de romã com concentrações do corante VC de 5, 10 e 15 mg/L, em intervalos de tempos de 0 a 90 min variando de 10 em 10 min. As constantes respectivamente foram  $0,063 \text{ g mg}^{-1} \text{ min}^{-1}$ ,  $0,013 \text{ g mg}^{-1} \text{ min}^{-1}$  e  $0,017 \text{ g mg}^{-1} \text{ min}^{-1}$ . Loulidi et al. (2023) utilizou o carvão ativado da borra de café e corante VC na concentração de 100 mg/L e o tempo de contanto de 0 a 120 min variando de 20 min em cada tempo, a constante foi de  $0,0039 \text{ g mg}^{-1} \text{ min}^{-1}$ . Alghamdi et al. (2021) com a síntese do carvão ativado a base de um polímero estudou o mecanismo de PSO com concentrações de 45 e 15 mg/L no intervalo de tempo de 0 a 120 minutos, e a constante foi de 0,013 e  $0,0069 \text{ g mg}^{-1} \text{ min}^{-1}$  respectivamente.

Figura 14. Ajustes não experimentais pseudo segunda ordem



Fonte: Autor, 2023

Tabela 5. Valores dos parâmetros dos modelos cinéticos aplicados à cinética de adsorção de corante VC nos materiais CA-700 e CAQ-500.

	CA-700	CAQ-500
$q_{e, \text{exp}}$ (mg g <sup>-1</sup> )	772	927
Pseudo-primeira ordem		
$q_{e, \text{cal}}$ (mg g <sup>-1</sup> )	137,6	193,1
$k_1$ (min <sup>-1</sup> )	$2,4 \times 10^{-2}$	$3,8 \times 10^{-2}$
$r^2_{\text{adj}}$	0,7162	0,8212
Pseudo-segunda ordem		
$q_{e, \text{cal}}$ (mg g <sup>-1</sup> )	787,4	934,6
$k_2$ (g mg <sup>-1</sup> min <sup>-1</sup> )	$1,6 \times 10^{-6}$	$1,1 \times 10^{-6}$
$r^2_{\text{adj}}$	0,9976	0,9987

Fonte: Autor, 2023

## 6 CONCLUSÃO

A partir dos estudos de adsorção com os carvões obtidos da biomassa do cacho de açaí, constatou-se a eficiência destes adsorventes para remoção do violeta cristal em ampla faixa de pH. A capacidade de remoção do CA-700 foi superior a 99 % nos pH 9,0 e 10,0 indicando que as interações eletrostáticas entre adsorvente e adsorvato favorecem o processo de adsorção. A ativação química com NaOH promoveu um aumento considerável na adsorção, mesmo com a diminuição da quantidade de adsorvente e aumento da concentração do VC corroborando estudos na literatura que sugerem que o hidróxido de sódio aumenta a porosidade dos materiais. Os estudos cinéticos mostram que o modelo pseudo-segunda ordem descreve o mecanismo de adsorção, e ambos os materiais apresentam interação rápida com o VC nos tempos iniciais. O tempo de equilíbrio no presente estudo foi maior, quando comparado aos dados de outras literaturas. Por fim, pode-se concluir que os materiais de baixo custo sintetizados nesta pesquisa, apresentam uma excelente interação com o VC, e podem ser utilizados para minimizar impactos ambientais e à saúde humana que este corante pode promover.

## 7 PERSPECTIVAS DE ESTUDOS POSTERIORES

- Realizar a espectroscopia vibracional no infravermelho (FTIR) para a biomassa e os adsorventes sintetizados.
- 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;
- Estudar as isotermas de adsorção para descrever o comportamento e a capacidade de adsorção nos processos de remoção dos efluentes.

## REFERÊNCIAS

- ABBAS, M. HARRACHE, Z., TRIARI, M. Mass-transfer processes in the adsorption of Crystal violet by activated carbon from pomegranate peels: kinetics and thermodynamic studies. **Journal of Engineered Fibers and Fabrics**, v. 15, p. 1558925020919847, 2020.
- AÇIKYILDIZ, M.; GURSES, A.; KARACA, S. Preparation and characterization of activated carbon from plant wastes with Chemical activation. **Microporous and Mesoporous Materials**, v. 198, p. 45-49, 2014.
- ADAMSON, A. W.; GAST, A. P. Physical Chemistry of Surfaces. New York: WILEY, 1997.
- AGOSTINI, S. D. et al. Ciclo econômico do pau-brasil- *Caesalpinia echinata* Lam., 1785. **Páginas do Instituto de Biologia, São Paulo**, v. 9, n. 1, p. 15-30, 2013.
- AHMARUZZAMAN, M.; SHARMA, D. K. Adsorption of phenols from wastewater. **Journal of Colloid and Interface Science**, v.287, n.1, p.14-24, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2005.01.075>.
- AKSU, Z.; ISOGLU, I. A. Removal of Copper(II) ions from aqueous solution by biosorption onto agricultural waste sugar beet Pulp. **Process Biochemistry**. V. 40, n. 9, p. 3031-3044, 2005.
- ALEIXO, T. T. R. P. **Tingimento natural e impressão botânica; um caminho para o eco fashion**. 2021. Disponível em: <https://repositorio.ifsc.edu.br/handle/123456789/2310>. Acesso em: 24 de setembro de 2022.
- ALGHAMDI, A. A. Et al. Adsorptive performance of polypyrrole-based KOH- activated carbon for the cationic dye Crystal violet: kinetic and equilibrium studies. **Adsorption Science e Technology**, p. 1-11, 2021.
- ALMEIDA, C. F. de. **Produção de carvão ativado quimicamente a partir da palmácea mauritia flexuosa e o estudo de suas propriedades adsorptivas**. 2015.
- ALMEIDA, U. O. Et al. Crescimento de açazeiro (*Euterpe precatoria* Mart). Consorciado com bananeira. **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**, v. 5, n. 3, 2018.

ANGIN, D.; KOSE, T. E.; SELENGIL, U. Production and characterization of activated carbon prepared from safflower seed cake biochar and its ability to absorb reactive dyestuff. **Applied Surface Science**, v. 280, p. 705-710, 2013.

ANTUNES, M. L. P. et al. Estudo da utilização de serragem de madeira como adsorvente para tratamento de efluentes têxteis. **Revista de estudos ambientais**, Sorocaba, v. 12, n. 2, p. 6-14, jul./dez. 2010.

ARAÚJO, L. S.; Et al. Caracterização e avaliação de fatores que determinam a remoção de microcistina- LR em carvão ativado granular produzido a partir de diferentes matérias-primas. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, p. 23, 1131-1142, 2018.

ARAÚJO, R. C. S. Et al. **influência da granulometria do talo de açaí na adsorção do corante têxtil rodamina 6g em leito fixo**. Processos Químicos e Biotecnológicos. p 42.

BALABANOVA, M.; POPOVA, L.; TCHIPEVA, R. Dyes in dermatology. **Clinics in dermatology**, v. 21, n. 1, p. 2-6, 2003.

BAZZO, A. **Aplicação e caracterização do caroço de abacate (persea americana mil) como adsorvente na remoção do corante violeta cristal**. 2015.

BIANCHI, J. C.; PASSOS; A. A.; VAITSMAN, D. S. Uso de corantes naturais no segmento industrial têxtil. **Revista Souza Marques**, v. 15, n. 34, p. 161-172, 2016.

BJPAI, S. K.; JAIN, A. Equilibrium and thermodynamic studies for adsorption of crystal viole onto spent tea leaves (STL). **Water**. v. 4, p. 52-71, 2012.

BORBA, C. E. **Modelagem da remoção de metais pesados em coluna de leito fixo**. Dissertação (Mestrado em engenharia Química) Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

BOUCHELTA, C. Et al. Preparation and characterization of activated carbon from date stones by physical activation with steam. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 82, p. 70-77, 2008.

BRANDÃO, A. C. T.; QUEIROZ, V.; SILVA, R. G. C. Síntese e caracterização de carvão ativado quimicamente com H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> e NaOH a partir da casca de pequi (Caryocar Brasiliense) **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, 2020.

CARDOSO, N. F. Adsorção de corantes têxteis utilizando biossorventes alternativos. 2012.

CARDOSO, N. F. Et al. Application of agai stalks as biosorbent for the removal of the dyes reactive black 5 and reactive Orange 16 form aqueous solution. **Journal of Chemical and Engineering**, v. 56, p. 1857-1868, 2011.

CARDOSO, N. F., et al. Application of aqai stalks as biosorbents for the removal of the dyes reactive black 5 and reactive Orange 16 form aqueous solution. **Journal of Chemecal e Engineering data**, v. 56, n. 5, p. 1857-1868, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/je100866c>. Acesso em: 20 de setembro 2022.

CARVALHO, S. C. F. D. **Resíduos da indústria de beneficiamento de castanha de caju anarcadium occidentale l. como adsorvente de cromo(vi) em solução aquosa**. Dissertação (Pós-graduação em Ciências e Engenharia de Materiais) Universidade Federal Rural, UFERSA, Mossoró-RN, 2021.

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

CHOY, K. K. H.; PORTER, J. F.; MCKAY, G. Langmuir, isotherms models Applied to the multicomponent sorption of acid dyes from effluent onto activated carbon. **Journal of Chemical e Engineering Data**, v. 45, n. 4, p. 575-584, 2000.

CLAUDINO, A. **Preparação de carvão ativado a partir de turfa e sua utilização na remoção de poluentes**. Dissertação (mestrado)- Universidade Federal de Santa Catarina. 2013

ÇORUH, Et AL. Dye Removal from Aqueous Solution by Adsorption onto fly ash. Athens: ATINER'S **Conference Paper Series**, No: ENV2012-0057, 2012.

CRISTEA, D., e VILAREM, G. Improving light fastness of natural dyes on cotton yarn. **Dyes and pigments**, v. 70, n 3, p. 238-245, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2005.03.006>. Acesso em 24 de setembro de 2022.

DALLAGO, R. M.; SMANIOTTO, A.; OLIVEIRA, L. C. A. D. Resíduos sólidos de curtumes como adsorventes para a remoção de corantes em meio aquoso. **Química Nova**, v. 28, p. 433-437, 2005.

DÁVILA, I. V. J.; NUNES, K. G. P.; FÉRIS, L. A. Remoção do violeta cristal por adsorção utilizando carvão ativado. **Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação**. Uberaba, MG. Vol. 4, n. 2 (jul./set. 2019), p. 146-156, 2019.



DOCAMPO, R.; MORENO, S. N. The metabolism and mode of action of gentian violet. **Drug metabolism reviews**, v. 22, n. 2-3, p. 161-178, 1990.

EL HARFI, S. e EL HARFI, A. Classifications, Properties and applications of textile dyes: A review. **Applied Journal of Environmental Engineering Science**, v. 3, n. 3, p. 311-320, 2017. DOI: <https://doi.org/10.48422/IMIST.PRSM/aje-es-v3i3.9681>.

Embrapa. Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária. Sistemas de Produção 4- Açaí. Belém, 2005.

ALENCAR, D. J. P.; et al. Produção de carvão ativado da casca do babaçu e sua eficiência no tratamento de água para o consumo humano. **Engenharia Florestal: Desafios, Limites e Potencialidade**, v. 1, n. 1, p. 654-685, 2020.

GANDHIMATHI, R. et al. Single and tertiary system dye removal from aqueous solution using bottom ash: kinetic and isotherm studies. **Iranica Journal of Energy e Environment**. v. 3, 2012.

GANDHIMATHI, R.; RAMESH, S. T; SINDHU, V.P. Single and tertiary system dye removal from aqueous solution using bottom ash: kinetic and isotherm studies. **Iranica Journal of Energy e Environment** v. 3. 2012.

<https://doi.org/10.5829/idosi.ijee.2012.03.01.0113>

GÓES, M. C. D. C. **Palha da carnaúba (*Copernicia cerifera*) como removedor dos corantes de metileno e cristal violeta**. 2013.

GUARATINI, C. C., e ZANONI, M. V. B. Corantes têxteis. **Química nova**, v. 23, p. 71-78, 2000.

GUIDA, I. I. S.; FALCÃO, S. S. Remoção do corante têxtil violeta cristal utilizando argila maranhense de montes altos como adsorvente. **Revista Virtual de Química**. São Luís, 2018.

GUPTA, V. K. e SUHAS. Application of low-cost adsorbents for dye removal-a review. **Journal of environmental management**, v. 90, n. 8, p. 2313-2342, 2009.

HO, Y. S.; McKay, G. A kinetic study of dye sorption by biosorbent waste product pith. Resources. **Conservation and Recycling**, v. 25, n. 3-4, p. 171-193. 1999.

IUPAC Recommendations. **Pure and Applied Chemistry**, v. 57, n. 4 p. 603-619, 1985.

KAMATH, A. A.; NAYAK, N. G., SAGAR, R. Coconut flower sheath derived activated charcoal as eficiente and cost effective adsorbent for Crystal violet dye removal. **Inorganic Chemistry Communications**, v. 134, p. 109077, 2021.

LAGERGREN, S. Zur theorie der sogenannten adsorption gelöster stoffe, **Kungliga Svenska Vetenskapsakademiens. Handlingar**, v. 24, n. 4, p. 1-39. 1898.

LOPES, D. O. **estudos de adsorção do corante amarelo ácido 17 usando carvão ativado obtido do cacho do açaí e da casca da castanha-do-pará**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Sul e do Sudeste do Pará. Marabá. 2020.

LOULIDI, Ilyasse et al. Comparative Study on Adsorption of Crystal violet and chromium (VI) by activated carbon derived from spent coffee grounds. **Applied Sciences**, v. 13, n. 2, p. 985, 2023.

MALARVIZHI, R., e HO, Y. S. The influence of pH and the structure of the dye molecules on adsorption isotherm modeling using activated carbon. **Desalination**, v. 264, n. 1-2, p. 97-101, 2010.

MANGUEIRA, E. S. V. **Produção de carvão ativado a partir de Endocarpo de coco da Baía (cocos nucifera) aplicado ao processo de adsorção do herbicida metribuzin**. 2014, 103f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014.

MANI, S. e BHARAGAVA, R. N. Exposure to crystal violet, its toxic, genotoxic and carcinogenic effects on environment and its degradation and detoxification for environmental safety. **Reviews of Environmental Contamination and Toxicology**. v. 237, p. 71-104, 2016.

MELLO, V. M., e SUAREZ, P. A. As formulações de tintas expressivas através da história. **Revista virtual de química**, v. 4, n. 1, p. 2-12, 2012. DOI: 10.5935/1984-6835.20120002. Disponível em: <https://rvq-sub.s bq.org.br/index.php/rvq/article/view/248/218>. Acesso em: 20 de setembro de 2022.

MIMURA, A. M. S. et al. Aplicação da casca de arroz na adsorção dos íons  $39\text{ Cu}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  e  $\text{Zn}^{2+}$ . **Química Nova**, v. 33, p. 1279-1284, 2010.

MOHAN, D., et al. Removal of dyes from wastewater using flyash, a low-cost adsorbent. Industrial e engineering chemistry research- **International Engineering Chemistry Research** v. 41, 2002.

MORI, M.; CASSELLA, R. J. Estudo da sorção do corante catiônico violeta cristal por espuma de poliuretano em meio aquoso contendo dodecilsulfato de sódio. **Química Nova**, v. 32, p. 2039-2045, 2009.

NASCIMENTO, R. F. et al. Adsorção: Aspectos teóricos e aplicação ambientais. **Fortaleza: Imprensa Universitária**. p. 258, 2014. Disponível em: [http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/10267/1/2014\\_liv\\_rfdnascimento.pdf](http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/10267/1/2014_liv_rfdnascimento.pdf). Acesso em: 26 de outubro de 2022.

NORASHIDDIN, F. A.; et al. Sustainable activated carbon production via microwave for wastewater treatment: A comparative review. **Borneo Journal of Resource Science and Technology**, v. 10, n. 1, p. 1-9, jul. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.33736/bjrst.2030.2020>.

BOUCHELTA, C.; Et al. Preparation and characterization of activated carbon from date stones by physical activation with steam. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 82, p. 70-77, 2008.

NUNES, A. S. Produção de adsorventes a partir da casca de amendoim visando a aplicação na remoção de corantes orgânicos. **Itapetinga, UESB**, P. 1-10, 2014.

OGUNGBENRO, A. E. Et al. Synthesis and characterization of activated carbon from biomass date seeds for carbon dioxide adsorption. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 8, n. 5, out. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104257>.

OLIVEIRA, M. S. P.; FARIAS NETO, J. T.; SILVA PENA, R. Açaí: técnicas de cultivo e processamento. **CEP**, v. 60, p. 002, 2007.

OLIVEIRA, V. A. D., et al. **Relação entre consumo alimentar da população nordestina e alto índice de câncer gástrico nesta região**. 2014.

PEREIRA, E. N.; JÚNIOR, V. C. R. **Carvão do caroço de açaí (*Euterpe olearca*) ativado quimicamente com hidróxido de sódio(NaOH) e sua eficiência no tratamento de água para o consumo**. Escola Estadual de Ensino Médio Profª. Enerstina Pereira Maia, Clube de Ciências de Moju- CCIM. Moju, p. 24. 2013.

PESSÔA, T. S. **Caracterização e aplicação de biocarvão obtido a partir do endocarpo do açaí para adsorção de corantes têxteis**. 2019. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

PEZZOLO, D. B. **Tecidos: história, tramas, tipos e usos**. São Paulo, Editora Senac, 2021.

POTT, C. M. e ESTRELA, C. C. Histórico ambiental: desastres ambientais e o despertar de um novo pensamento. **Estudos avançados**, v. 31, p. 271-283, 2017.

RUTHVEN, D. M. **Principles of Adsorption and Adsorption Processes**. New York: John Wiley e Sons, 1984.

- SAEED, A., SHARIF, M., e IGBAL, M. Application potential of grapefruit peel as dye sorbent: kinetics, equilibrium and mechanism of Crystal violet adsorption. **Journal of hazardous materials**, v. 179, n. 1-3, p. 564-572, 2010.
- SAIKIA, J. Et al. A potent surface for the adsorption of xanthene dyes. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 1, n. 4, p. 1166-1173, 2013.
- SALES, P. F. Et al. Produção, caracterização e aplicação do carvão ativado obtido a partir do sabugo de milho: a busca pelo reaproveitamento de um resíduo agroindustrial. **Revista Virtual de Química, Niterói, RJ**, v. 7, n. 4, 21 jan. 2015. ISSN 1984-6835. Disponível em: <http://rvq-sub.s bq.org.br/index.php/rvq/article/view/831>. Acesso em: 26 de outubro de 2022.
- SALLEH, M. A. M. Et al. Cationic and anionic dye adsorption by agricultural solid wastes: a comprehensive review. **Desalination**, v. 280, n. 1, p. 1-13, 2011.
- SALLEH, M. A. M.; MAHMOUD, D. K.; KARIM, W. A. W. A.; IDRIS, A. Cationic and anionic dye adsorption by agricultural solid wastes: a comprehensive review. **Desalination**, v. 280, n.1, p.1-13, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.07.019>. 2011.
- SANTOS, G. D. S., et al. Identificação e quantificação do cristal violeta em aguardentes de mandioca(tiquira). **Química Nova**, v. 28, p. 583-586, 2005.
- SANTOS, J. H. L. Et al. Adsorção de enxofre do bensotiofeno em combustível modelo através de zeolita NaY modificada Benzothiofophen enxosphre adsorption in modified fuel through modified Nay zeolita. **Brazilian Journal of development**, v. 8, n. 4, p. 24976-24990, 2022.
- SAQUIB, M.; MUNEER, M. TiO<sub>2</sub>-mediated photocatalytic degradation of a trphenylmethane dye (gentian violet), in aqueous suspensions. **Dyes and pigments**, v. 56, n. 1, p. 37-49, 2003.
- SCHNEIDER, E. L. **Adsorção de compostos fenólicos sobre carvão ativado**. 2008. 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Engenharias e Ciências Exatas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2008.

- SILVA, M. G. et al. Tingimento de têxteis com o corante natural extraído dos excrementos do bicho-da seda. **4o CONTEXMOD**, v. 4, n. 1, 2016. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Fernando-Giacomini-2/publication/311429289\\_Tingimento\\_de\\_texteis\\_com\\_o\\_corante\\_natural\\_extraido\\_dos\\_excrementos\\_do\\_bicho-da-seda/links/58461b9508aeda69681a63cd/Tingimento-de-texteis-com-o-corante-natural-extraido-dos-excrementos-do-bicho-da-seda.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Fernando-Giacomini-2/publication/311429289_Tingimento_de_texteis_com_o_corante_natural_extraido_dos_excrementos_do_bicho-da-seda/links/58461b9508aeda69681a63cd/Tingimento-de-texteis-com-o-corante-natural-extraido-dos-excrementos-do-bicho-da-seda.pdf). Acesso em: 25 de setembro de 2022.
- SILVA, N. C. **Remoção de antibióticos da água por meio do processo de adsorção em carvão ativado**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais) - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira.
- SILVA, R. P. et al. **Emprego de Zeólita na remoção dos corantes têxteis violeta cristal e azul de metileno em solução aquosa**. 2014.
- SILVA, R. R. M.; OLIVEIRA, T. T. F.; FRANÇA, A. B. **Estudo de equilíbrio e modelagem cinética da adsorção do corante cristal violeta sobre carvão de capim-elefante**. 2017.
- SILVA, S. E. L., Et al. O cultivo do açazeiro. 2005.
- SIMONIN, J. P. On the comparison of pseudo-first order and pseudo-second order rate laws in the modeling of adsorption Kinetics. **Chemical Engineering Journal**, v. 300, p. 254-263, 2016.
- SOUSA, A. A. O. Et al. Adsorção do corante básico verde Malaquita via carvão ativado a partir do caroço de açaí. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, 2021.
- YAGUB, M. T.; SEN, T. K.; ANG, H. M. Equilibrium, kinetics, and thermodynamics of methylene blue adsorption by pine tree leaves. **Water, Air, e Soil Pollution**, v. 223, p. 5267-5282, 2012.
- ZANELLA, O. Sorção de nitrato em carvão ativado tratado com  $\text{CaCl}_2$ : estudo de ciclos de sorção/regeneração. 2012.
- ZANONI, M. V. B., e YAMANAKA, H. **Caracterização química, toxicológica, métodos de detecção e tratamento**. 1. ED. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2018.
- ZANONI, M.; CARNEIRO, P. O descarte dos corantes têxteis. **Ciência Hoje**. v. 29, 2001.
- ZOLLINGER, H. **Color chemistry: syntheses, properties, and applications of organic dyes and pigments**. 3 ed. John Wiley e Sons, 2003.