



UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ  
INSTITUTO DE CIÊNCIA EXATAS  
FACULDADE DE QUÍMICA  
LICENCIATURA EM QUÍMICA

BRENDA THALITA PAIVA CARNEIRO DE SOUSA

**SÍNTESE DE MATERIAIS ADSORVENTES DA CASCA DA CASTANHA-DO-PARÁ  
(*Betholletia excelsa*) PARA REMOÇÃO DE CORANTES TÊXTEIS EM FASE  
AQUOSA**

MARABÁ

2022

BRENDA THALITA PAIVA CARNEIRO DE SOUSA

**SÍNTESE DE MATERIAIS ADSORVENTES DA CASCA DA CASTANHA-DO-PARÁ  
(*Betholletia excelsa*) PARA REMOÇÃO DE CORANTES TÊXTEIS EM FASE  
AQUOSA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Química do Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, como requisito parcial para a obtenção do grau de Licenciatura 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 II**

---

- S725s Sousa, Brenda Thalita Paiva Carneiro de  
Síntese de materiais adsorventes da casca da castanha-do-pará (*Betholletia excelsa*) para remoção de corantes têxteis em fase aquosa / Brenda Thalita Paiva Carneiro de Sousa. — 2022.  
57 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, Campus Universitário de Marabá, Instituto de Ciências Exatas, Faculdade de Química, Curso de Licenciatura em Química, Marabá, 2022.
1. Castanha do Brasil - Pará. 2. Agentes ativos de superfícies. 3. Adsorção. 4. Indústria têxtil. I. Carvalho, Francisco Adriano de Oliveira, orient. II. Título.

CDD: 22. ed.: 541.3698115

---

Elaborado por Hully Thacyana – CRB-2/1.593

BRENDA THALITA PAIVA CARNEIRO DE SOUSA

**SÍNTESE DE MATERIAIS ADSORVENTES DA CASCA DA CASTANHA-DO-PARÁ  
(*Betholletia excelsa*) PARA REMOÇÃO DE CORANTES TÊXTEIS EM FASE  
AQUOSA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Química do Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, como requisito parcial para a obtenção do grau de Licenciatura em Química.

Data de aprovação: Marabá (PA), 04 de novembro 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<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Simone Yasue Simote Silva  
Examinador externo

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por suprir as minhas necessidades em todos os aspectos e pela força de chegar até aqui.

Ao meu esposo Benedito por seu amor, carinho, dedicação, e, acima de tudo, por ser o meu maior incentivador.

A minha filha Isabella por ter sido a minha força e motivação.

A minha avó paterna Maria do Livramento por todo amor e dedicação. A minha avó materna Araci por me mostrar que o estudo sempre será a melhor escolha. Ao meu avô materno Messias por aguentar a responsabilidade em sustentar seus filhos e netos.

A minha mãe Davilene e aos meus irmãos por serem essenciais na minha vida.

A minha madrastra Cirlene e minha Tia Noeme por muitas vezes terem feito o Papel de mãe.

Aos meus amigos além dos muros da graduação por entenderem a minha ausência em diversos momentos.

Ao meu orientador Prof. Dr. Francisco Adriano de Oliveira Carvalho pela paciência, pela dedicação e por confiar a mim este trabalho.

Aos meus professores Adriane Damasceno Vieira de Souza, Simone Yasue Simote Silva, Claudio Emídio Silva e Sebastião da Cruz Silva, por exercerem com maestria e nobreza essa profissão.

Aos meus irmãos de caminhada Airton, Brena e Thamyres, pela nossa união e por contribuírem sempre para que fizéssemos o melhor trabalho possível.

Aos amigos de graduação, em especial, Karina, Alexandre, Lanniele, Matheus, Adryele, Elivelton, Shirlene, Mayara e Alciene, por serem fundamentais nessa caminhada.

A todo o corpo docente da FAQUIM que de alguma forma contribuíram diretamente e indiretamente para que essa trajetória fosse possível.

“Esta página dedico a vocês”

“Os dias prósperos não vêm por acaso. São granjeados, como as searas, com muita fadiga e com muitos intervalos de desalento”.

(Camilo Castelo Branco)

## RESUMO

O setor têxtil, embora seja um dos importantes motores da indústria moderna, traz consigo uma grande quantidade de carga poluidora, que está associada ao descarte de águas residuais contendo corantes, os quais na maioria das vezes são lançados em ambientes aquáticos sem o tratamento adequado. Diante disso, o presente estudo investiga a capacidade adsorviva do carvão ativado sintetizado a partir da casca da castanha-do-pará para a remoção dos corantes têxteis reativo laranja 16 (RL-16) e Azul de toluidina (Tb) em solução aquosa, bem como, sua modificação com o polímero quitosana. Foram sintetizados quatro materiais adsorventes nomeados de CA-500 (carvão ativado a 500 °C), CA-800325 (carvão ativado a 800 °C classificado a 325 mesh), CA/Q1g (compósito feito com 1 g de quitosana) e CA/Q2g (compósito feito com 2 g de quitosana). A caracterização dos adsorventes foi realizada por espectroscopia de infravermelho com transformada de Forier (FTIR) para verificar a degradação estrutural da biomassa *in natura*, bem como, o surgimento de novos grupos proveniente da quitosana. Para quantificar a concentração dos corantes nas soluções em contato com os adsorventes foi utilizada a técnica de espectroscopia de ultravioleta – visível (UV). Inicialmente observou-se que o carvão ativado sintetizado em 800 °C (CA-800325), apresentou 23,99% de rendimento, quando comparado ao CA-500 que apresentou 45,06%. Para os ensaios de adsorção, o efeito da massa nos ensaios de dosagem, utilizando 4 g/L de CA-800325, mostrou resultados mais eficientes para o corante Tb do que para o RL-16, sendo 99% e 15%, respectivamente. A variação de pH não apresentou influência significativa na remoção dos corantes RL-16 e Tb. Na preparação dos compósitos, o aumento da massa de quitosana proporcionou maior estabilidade das esferas. No entanto, os ensaios de adsorção com os compósitos CA/Q1e CA/Q2g, quando comparados ao CA-800325 e o carvão comercial (CAC) não indicaram melhora na capacidade adsorviva para ambos os corantes, e que provavelmente está associado a densificação do material e redução da área superficial, com a incorporação da quitosana. Por outro lado, o CA-800325 e CAC, apresentaram eficiência semelhante para a remoção do corante Tb, com 99,85% e 99,88 %, respectivamente. Os estudos de adsorção do corante reativo laranja 16 e do corante azul de toluidina, usando o CA-800325 sugere que o carvão ativado a partir da casca da castanha-do-pará é eficiente no tratamento de efluentes têxteis, principalmente de corantes catiônicos, além disso, podem contribuir com o meio ambiente por ser proveniente de fonte renovável.

**Palavras-chave:** Castanha-do-pará; Compósito; Adsorção;

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Estrutura química do corante reativo laranja 16 (RL-16).....	18
Figura 2 - Estrutura química das moléculas dos corantes Azul de Toluidina e Azul de Metileno .....	19
Figura 3 – Castanheira do Pará ( <i>Betholletia excelsa</i> ).....	25
Figura 4 - Fruto da castanheira .....	26
Figura 5 - Etapas de preparo das sínteses dos materiais adsorventes .....	32
Figura 6 - Ensaios de adsorção dos materiais adsorventes .....	32
Figura 7 – Amostras de 50 g após a carbonização a 500 °C e 800 °C em forno mufla por 2h.	33
Figura 8 - Efeito da variação de massa de quitosana no preparo das esferas de compósitos ...	34
Figura 9 – Espectros na região do infravermelho da casca da castanha-do-pará in natura e carbonizada a 800 °C .....	35
Figura 10 – Comparação dos espectros na região do infravermelho dos compósitos e CA- 800325 .....	37
Figura 11 – Curva de calibração para o corante RL-16.....	38
Figura 12 – Efeito dos ensaios de dosagem de CA-800325 na remoção do corante RL-16 na concentração de 234 mg/L em pH 6,5 a 25 °C a 200 rpm/200 min.....	39
Figura 13 – Efeito da variação de pH na faixa de 1 a 9 na remoção do corante RL-16 na concentração de 234 .....	40
Figura 14 - Porcentagem de remoção do corante RL-16 na concentração de 234 mg/L em função da variação de pH na faixa de 1 a 9 a 25°C a 200 rpm/200 min.....	41
Figura 15 - Curva de calibração do corante azul de toluidina .....	42
Figura 16 - Efeito da dosagem de massa do CA-800325 na remoção de 234 mg/L do corante Tb em pH 4 a 25 °C a rotação de 200 rpm/200 min .....	43
Figura 17 - Efeito da variação do pH (1 a 9) na remoção do corante Tb na concentração de 234 mg/L a 25 °C a rotação de 200 rpm/200 min.....	44
Figura 18 - Porcentagem de remoção do corante Tb na concentração de 234 mg/L em função do pH (1 a 9) a .....	45

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos corantes conforme os métodos de aplicações.....	17
Tabela 2 - Características gerais do corante reativo laranja 16 (RL-16).....	18
Tabela 3 - Características gerais do corante azul de toluidina .....	19
Tabela 4 – principais diferenças entre os mecanismos de adsorção.....	22
Tabela 5 – Rendimento das amostras após o processo de calcinação a 500 °C e 800 °C em forno mufla por 2h.....	33
Tabela 6 – Comparação dos ensaios de adsorção utilizando os adsorventes CAC, CA-800325, CA/Q1g e CA/Q2g na remoção do corante RL-16 na concentração de 234 mg/L em pH 6,5 a 25 °C a 200 rpm/200 min.....	41
Tabela 7 – Comparação dos resultados obtidos nos ensaios de adsorção do corante Tb utilizando os adsorventes o CAC, CA-800325, CA/Q1g e CA/Q2g a 25 °C a rotação de 200 rpm/200 min .....	46

## LISTA DE ABREVIACÕES

CA	Carvão Ativado
CAC	carvão comercial
CA-500	Carvão Ativado a 500 °C
CA/Q1g	Compósito feito com 1g de quitosana
CA/Q2g	Compósito feito com 2g de quitosana
CA-800	Carvão ativado a 800 °C
CA-800325	Carvão ativado a 800 °C e classificado a 325 mesh
FTIR	Espectroscopia vibracional na região do infravermelho com transformada de Fourier
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MCA	Massa de carvão ativado
MSC	Massa da amostra antes da carbonização
RCA	Rendimento do carvão ativado
RL-16	Corante Laranja Reativo 16
RMV	Rendimento de materiais voláteis
Tb	Corante azul de toluidina

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>14</b>
<b>2.1 Geral</b> .....	<b>14</b>
<b>2.2 Específicos</b> .....	<b>14</b>
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>15</b>
<b>3.1 Corantes</b> .....	<b>15</b>
3.2.1 Corante reativo laranja 16.....	18
3.2.1 Corante Azul de Toluidina .....	19
<b>3.3 Impactos Ambientais dos corantes</b> .....	<b>20</b>
<b>3.4 Técnicas de purificação de efluentes</b> .....	<b>20</b>
3.4.1 Adsorção.....	21
3.4.1.1 Adsorção física .....	22
3.4.1.2 Adsorção química.....	23
<b>3.5 Materiais adsorventes</b> .....	<b>23</b>
3.5.1 Uso de quitosana como adsorvente .....	24
<b>3.6 Castanha-do-pará</b> .....	<b>25</b>
<b>4 METODOLOGIA</b> .....	<b>27</b>
<b>4.1 Carbonização do material oriundo da casca da castanha-do-pará</b> .....	<b>27</b>
<b>4.2 Preparo do compósito de quitosana</b> .....	<b>28</b>
4.2.1 Preparo do gel do compósito .....	28
4.2.2 Processo de precipitação das esferas de compósito de quitosana.....	28
4.2.3 Processo de estabilização das esferas .....	28
4.2.4 Lavagem e secagem do compósito de quitosana .....	29
<b>4.3 Caracterização dos materiais adsorventes em espectroscopia vibracional na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)</b> .....	<b>29</b>
<b>4.4 Obtenção da curva de calibração</b> .....	<b>29</b>

4.4.1	Obtenção da curva de calibração do corante reativo laranja 16 (RL-16) .....	29
4.4.2	Obtenção da curva de calibração do corante azul de toluidina (Tb) .....	30
<b>4.5</b>	<b>Efeitos da dosagem e do pH no carvão não modificado .....</b>	<b>30</b>
4.5.1	Efeitos da dosagem .....	30
4.5.2	Efeito do pH na solução .....	31
<b>4.6</b>	<b>Ensaio de adsorção do compósito carvão/quitosana .....</b>	<b>31</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>33</b>
<b>5.1</b>	<b>Ensaio de carbonização do endocarpo da castanha-do-pará .....</b>	<b>33</b>
<b>5.2</b>	<b>Preparo dos compósitos de quitosana utilizando o CA-800325 .....</b>	<b>34</b>
<b>5.3</b>	<b>Caracterização dos materiais adsorventes .....</b>	<b>35</b>
5.3.1	Espectroscopia vibracional na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) do CA-800325 .....	35
5.3.2	Espectroscopia vibracional na região do infravermelho (FTIR) dos compósitos de quitosana .....	36
<b>5.4</b>	<b>Curva de Calibração do corante RL-16 .....</b>	<b>38</b>
<b>5.5</b>	<b>Efeito da dosagem de massa do CA-800325 na adsorção do RL-16 .....</b>	<b>38</b>
<b>5.6</b>	<b>Estudo da capacidade de adsorção do CA-800325 em função do pH na solução de corante</b>	<b>RL-16</b>
	.....	<b>39</b>
<b>5.8</b>	<b>Curva de calibração do corante azul de toluidina (Tb) .....</b>	<b>42</b>
<b>5.9</b>	<b>Efeito da dosagem de massa do CA-800325 na adsorção do corante Tb .....</b>	<b>43</b>
<b>5.10</b>	<b>Estudo da capacidade de adsorção do CA-800325 em função do pH na solução do corante Tb .....</b>	<b>44</b>
<b>5.11</b>	<b>Ensaio de adsorção dos compósitos na remoção do corante Tb .....</b>	<b>45</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>47</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>48</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A água desempenha um papel fundamental para a sobrevivência dos seres humanos na terra. No entanto, com o crescimento populacional e das grandes indústrias surgiram diversos problemas, dentre eles, o aumento das contaminações dos cursos d'água. Essas contaminações são consequências dos descartes inapropriados de lixo orgânico, gases, elementos químicos, poluentes, resíduos industriais no meio ambiente (GOMES, 2015).

Dentro do setor industrial, destaca-se a indústria têxtil a qual é responsável por contribuir significativamente na economia de países desenvolvidos, além disso, é uma das principais atividades econômicas de alguns países emergentes (LUCENA, 2018). No entanto, os níveis elevados de água utilizados na produção dos tecidos tem sido motivo de preocupação por parte de pesquisadores ambientais. Segundo Ignachewski et al., (2010) não há um volume exato de água utilizado no processo, já que, isso dependerá da fibra beneficiada ou do tipo de procedimento utilizado para alcançar o resultado desejado.

O problema do excesso de água na produção do tingimento, acarretam em um alto custo no tratamento desses efluentes, isso, juntamente com a falha nas fiscalizações ambientais fazem com que parte desses resíduos sejam lançados nos mananciais aquáticos sem o tratamento adequado. Estima-se que 20% dos corantes, utilizado no processo de fabricação, sejam lançados nos ambientes aquáticos sem qualquer tratamento (FLECK, 2011). Dessa forma, devido ao seu alto poder de coloração, o corante dificulta a passagem da luz solar, retardando o processo de fotossíntese natural, acarretando modificações na biota aquática e ocasionando uma alta toxicidade desses ecossistemas (NEAMTU et al., 2002).

Diante disso, na busca pela remediação, questões relativas quanto ao acesso a água potável, levantam uma problemática na sociedade atual. A grande preocupação levantada em estação de tratamento de água, é quanto ao método a ser empregado. O uso de tecnologias inapropriadas pode alterar as características dos mananciais de água (MONDOARDO; SENS; MELO FILHO, 2006). Dentre os mais variados métodos, a adsorção tem se mostrado bastante eficiente na remoção de contaminantes de efluentes industriais, além disso, possui como vantagem a possibilidade de regeneração (2006 apud GOMES, 2015, p. 11).

A partir disso, a busca por novas tecnologias que utilizem materiais alternativos como resíduos agroindustriais e florestais, no processo de adsorção, podem trazer benefícios econômicos e ambientais. Segundo Cruz Jr (2010) os resíduos da castanha-do-pará tem sido alvo de pesquisa devido ao seu alto teor em carbono. Esses resíduos podem ser utilizados como matéria-prima em diversas áreas, dentre elas, na produção de carvão ativado e compósitos.

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo sintetizar materiais adsorventes a partir da casca da castanha-do-pará (*Betholletia excelsa*), além disso, utilizá-lo na preparação de compósitos de quitosana, e, investigar a capacidade de adsorção desses materiais na remoção de corantes têxteis em fase aquosa.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

O presente estudo visa a síntese de materiais adsorventes para remediação de corantes artificiais em efluentes aquosos, a partir da biomassa da casca da castanha-do-pará (*Betholletia excelsa*) visando a mitigação dos impactos ambientais oriundos da exposição destas substâncias.

### **2.2 Específicos**

- a) Sintetizar o carvão ativado fisicamente a partir da biomassa da casca da castanha-do-pará;
- b) Sintetizar o compósito carvão ativado-quitosana pelo método de gotejamento;
- c) Avaliar os efeitos da quantidade de adsorvente no meio, do pH e carga do corante no processo de adsorção dos corantes laranja reativo 16 e azul de toluidina para o carvão ativado puro e para o compósito; e
- d) Caracterizar o carvão ativado e o compósito carvão ativado-quitosana por infravermelho (ir).

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Corantes

A origem dos corantes é um fato histórico desconhecido. Existem indícios de seu uso pelas primeiras civilizações aproximadamente há 40.000 anos (FERREIRA, 2013). Os corantes eram classificados como natural, ou seja, obtido de plantas e animais, esses corantes eram predominantemente utilizados até meados do século XIX, as modalidades empregadas nos tingimentos eram totalmente empíricas (ROYER, 2008). No entanto, o método não era muito satisfatório, uma vez que, apresentavam ausência regular de suprimentos, baixa substantivada e falta de uniformização (SALEM, 2010).

Por outro lado, consoante Araújo (2006) o uso do corante sintético só foi iniciado em 1856, quando descoberto acidentalmente por Wiliam Henry Perkin, químico inglês, o qual sintetizou a Mauveína. Desde então, a produção de corantes sintetizados intensificou, porém, o monopólio de sua produção permaneceu no poder da Alemanha durante a Segunda Guerra Mundial. Após isso, expandiu-se para outros países, e, atualmente, maior parte dos corantes empregados, cerca de 90% são sintéticos (BELTRAME, 2000).

Segundo Guarantini e Zanoni, (2000) nos últimos 100 anos, cerca de 20.000 corantes foram sintetizados. Atualmente os sintéticos atingem diferentes setores industriais, tais como, têxteis, farmacêutico, alimentício, plásticos, dentre outros. Estima-se que as indústrias têxteis possuem catalogados mais de 8.000 corantes sintéticos (COGO, 2011). Esse número é justificado pela diversidade de tecidos, propriedades de fixação, custo benefícios, característica estrutural dos corantes, tipo da fibra, dentre outros. Além disso, em sua molécula possuem dois componentes importantes: o grupo funcional (liga a fibra ao corante) e o cromóforo (responsável pela cor) os quais devem ser estáveis aos processos de lavagem e à luz (BONANCÊA, 2010).

Os corantes podem ser aplicados no substrato por meio de um líquido solúvel ou parcialmente solúvel e, também, deve possuir uma afinidade com o substrato a ser aplicado (IMMCH, 2006). Além disso, são compostos químicos orgânicos que carregam propriedades capazes de absorver a luz visível seletivamente devido à presença de grupos cromóforos, como carbonila, azo, nitro e nitroso (LOPES, 2020). Segundo Carvalho (2010) a cor desses compostos é intensificada e/ou modificada por grupos auxocromo como etila, nitro, amina, sulfônico, hidroxila, metóxi, etóxi, cloro e bromo.

A larga escala na produção de corantes sintéticos revolucionou o setor industrial, gerando emprego à população, o que é muito benéfico à economia mundial. Por outro lado, existem as consequências negativas da produção exponencial desses compostos, tais como, falha nas fiscalizações dos órgãos competentes, os descartes inadequados, o alto custo nos tratamentos, dentre outros. Problemas como esses, causam danos tanto ao meio ambiente quanto ao homem, uma vez que, a maioria desses corantes são considerados tóxicos, cancerígenos e não biodegradável (SALOMÓN, 2020). A Tabela 1 apresenta a classificação de algumas classes de corantes de acordo com os métodos de aplicações.

**Tabela 1** - Classificação dos corantes conforme os métodos de aplicações

<b>Classe</b>	<b>Características</b>
Corante ácido	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Caracterizados como corantes catiônicos e possuem alta solubilidade em água; são utilizados em substrato como papel, couro, seda, nylon, tintas e lã; e a aplicação acontece em banho neutro a ácido.</li> </ul>
Corante básico	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Caracterizados como corantes aniônicos e quase todos apresentam sais de ácidos sulfônico na composição; são utilizados em substratos como poliácridonitrila, nylon tratado, poliéster e tintas de papel; e a aplicação acontece a partir de banhos de corantes ácidos.</li> </ul>
Corante direto	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ A maioria possui baixa solidez e são solúveis em água; os substratos utilizados são algodão, nylon, rayon, papel e couro; e a aplicação acontece em banho neutro ou levemente alcalino com eletrólito adicional.</li> </ul>
Corante disperso	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Caracterizados como não iônicos e solúveis em água; os substratos utilizados são acetato, poliéster, acrílico e plásticos; e uma de suas aplicações acontecem em dispersões aquosa finas em altas temperaturas.</li> </ul>
Corantes reativos	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Caracterizado por possuir um grupo reativo em sua estrutura capaz de formar ligações covalentes; os substratos utilizados são nylons, lã, algodão e seda; e a aplicação acontece quando a parte reativa do corante se liga covalentemente com o grupo funcional na fibra.</li> </ul>
Corante de enxofre	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ São compostos macromoleculares contendo pontes de polisulfetos e não são solúveis em água; os substratos utilizados são algodão e rayon; e uma de suas aplicações acontecem com substrato aromático misturado com sulfureto de sódio.</li> </ul>
Corante de cuba	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Caracterizado por ser insolúveis a água e serem solubilizados por queda de hidrogênio de sódio sulfitos; e os substratos utilizados são algodão e lã.</li> </ul>

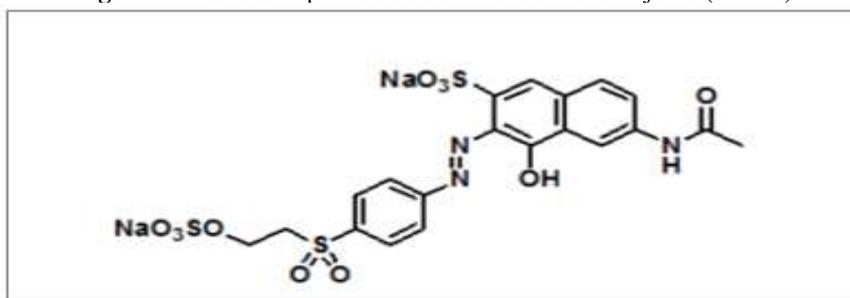
**Fonte:** adaptado de Yagub et al., 2014; Berradi et al., 2019; Benkhaya et al., 2020; Lopes, 2020.

### 3.2.1 Corante reativo laranja 16

O corante reativo laranja 16, Figura 1, devido à sua estabilidade de cor e a sua reatividade com as fibras, têm sido amplamente empregados nas indústrias brasileiras (GUARANTINI e ZANONI, 2000). Na estrutura molecular do corante existe um grupo cromóforo (-N=N-), responsável pela coloração, dois grupos sulfonato, responsável pelo caráter aniônico e solubilidade e um grupo reativo, este último permite formar uma ligação covalente com as fibras por meio da reação de adição ou substituição nucleofílica (KIMURA, 2001). Segundo a IUPAC o composto é denominado de Ácido 6-(Acetilamina) -4-(hidroxi) 3-[[4-[[2-(solfoxi) etil] sulfanil] fenil] azo]-naftalenosulfônico, o qual pertence à família do azo-corante (SILVA, 2017).

O reativo laranja 16 vem sendo amplamente utilizados pela indústria têxtil no processo de tingimento de fibras de celulose (TIZAQUI; GRIMA, 2011). No entanto, ressalta-se que mesmo em pequenas concentrações no meio ambiente, devido ao seu alto teor de coloração, esses compostos causam danos ambientais como a diminuição da atuação da fotossíntese. Além disso, inibi a atuação de bactérias, o que torna ainda mais difícil a decomposição desse corante. A Tabela 2 apresenta as características gerais do corante reativo laranja 16.

**Figura 1** - Estrutura química do corante reativo laranja 16 (RL-16)



Fonte: adaptada de Rosa, 2009.

**Tabela 2** - Características gerais do corante reativo laranja 16 (RL-16)

Classificação	Dados
Fórmula molecular	C <sub>20</sub> H <sub>17</sub> Na <sub>2</sub> O <sub>11</sub> S <sub>23</sub>
Maassa Molar (g/mol)	617,54
Tipo	Vinil sulfona
Grupos cromóforos	Monoazo
Sugerido abreviação	RL-16
Absorbância – λ máxima (nm)	493

Fonte: adaptada de Carvalho; Fungaro; Izidoro, 2010; Rosa, 2009 e Silva, 2017.

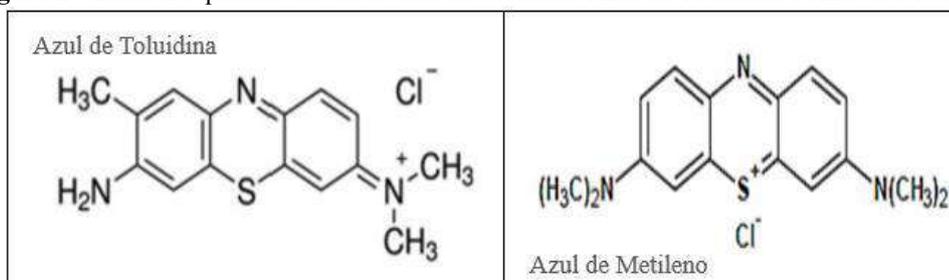
### 3. 2.1 Corante Azul de Toluidina

O azul de toluidina, Figura 2, é um corante altamente solúvel em água, catiônico do tipo fenotizina. É amplamente utilizado para diversos fins em vários setores como medicina, biotecnologia e indústria têxtil (KILINÇ; OZGE; AKC, 2008). Ele pode ser utilizado como intermediador em diversas reações bioquímicas ou químicas, corante para tecidos, fotossensibilizador, dentre outros.

Conforme Theo, Saint-Cyr e Alix, (2007) esse corante possui em sua estrutura a presença de um ânion cloreto e um cátion aromático, os quais podem ser facilmente detectados por medição de absorvância de luz. Pode-se observar que em sua estrutura é bem semelhante ao corante azul de metileno, possuindo, dessa forma propriedades físico-química parecidas (USACHEV; TEICHERT; BIEL, 2001).

Apesar das vastas aplicações, assim como os demais corantes, o azul de toluidina também apresenta problemas ambientais emitidos em águas contendo resíduos industriais, visto que, apresenta risco cancerígeno. Dessa forma, faz-se necessário buscar soluções alternativas a fim de mitigar a poluição causada por esses compostos. As características gerais do corante azul de toluidina também podem ser observadas na Tabela 3.

**Figura 2** - Estrutura química das moléculas dos corantes Azul de Toluidina e Azul de Metileno



**Fonte:** adaptada de Brahmin et al., 2021; Martínez Suárez, 2017.

**Tabela 3** - Características gerais do corante azul de toluidina

Classificação	Dados
Fórmula molecular	C <sub>15</sub> H <sub>16</sub> N <sub>3</sub> S, Cl <sup>-</sup>
Massa Molar	305,8 g/mol
Tipo	Fenotizina
Sugerido Abreviação	Tb
Absorvância – λ máxima	625 nm

**Fonte:** adaptada de Rauf, 2008.

### 3.3 Impactos Ambientais dos corantes

Devido a sua larga escala na produção, os corantes têm sido um dos maiores causadores de problemas ambientais. O setor têxtil, por exemplo, demanda mais de 700.000 toneladas de corantes anualmente, sendo este valor, equivalente a dois terços do mercado total de corantes, além disso, sendo também responsável pelos maiores descartes de efluentes contendo essa substância (LEAL et al., 2012). Durante o processo de produção, parte desses corantes são descartados nos mananciais, ocasionando diversos problemas ambientais (MONTEIRO, 2010).

Conforme destaca Mamitt; Freiburger e Stulp, (2009) os impactos ambientais envolvendo corantes é representado pela grande utilização de corantes do tipo azo (N=N), a exemplo, têm-se os corantes amaranço e tartrazina. Esses corantes, apresentam em sua estrutura grupo azo funcionais e compostos aromáticos, os quais proporcionam grande estabilidade, conseqüentemente, são de difícil remoção (SILVA et al., 2008).

Esses corantes por serem altamente estáveis, são resistentes à fotodegradação, à ação de agentes oxidantes e à biodegradação, além disso, são descartados nos cursos d'água com alto teor de coloração. Em virtude disso, prejudicam a vida aquática, uma vez que, inibi a penetração da luz solar, dificultando a atividade de fotossíntese, a concentração de oxigênio (RENCK; PAIXÃO, 2016). Outra problemática dos corantes é que a maioria deles são compostos inibidores de microrganismos, reduzindo drasticamente as expectativas de serem degradadas de forma natural (ALMEIDA; DILARRI; CORSO, 2016).

### 3.4 Técnicas de purificação de efluentes

Os despejos de efluentes, líquidos oriundos de atividades industriais, são motivos de preocupação mundial. Em alguns casos, parte desse efluentes são resistentes a biodegradação e não recebem o tratamento correto, o que ocasiona em graves problemas ambientais. Devido a esses fatores, as técnicas de purificação de efluentes necessitam alcançar melhores índices de remoção e, conseqüentemente, mitigar os danos causados na natureza. Diante disso, a busca por nova técnicas tem sido objeto de pesquisa nos últimos anos, uma vez que, a leis ambientais e a conscientização tornaram-se mais intensas (TWRDOUKUS, 2004).

Dentre os métodos mais utilizados pelas indústrias para o tratamento de efluentes, são Coagulação/floculação, remoção biológica e adsorção (KUNZ et al., 2002; GUARATINI; ZANONI, 2000). A coagulação/floculação sedimentam os resíduos por meio da utilização de ferro ou alumínio, os quais auxiliam na formação de flocos. Essa técnica apresenta um bom

desempenho na remoção, no entanto, não é satisfatória para a remoção da coloração (KUNZ et al., 2002). Segundo Antunes et al. (2010) a técnica de remoção biológica consiste na degradação dos resíduos por meio de microrganismos e ar, essa modalidade é mais utilizada na indústria têxtil. Apesar do bom desempenho, essa técnica também não apresenta um resultado eficiente na remoção da cor (2004, apud ANTUNES, 2010, p. 7).

A adsorção tem apresentado resultados promissores para a remoção da coloração (ROUQUEROL et. al., 2014). A técnica consiste na transferência de massa de um líquido em uma superfície sólida. Conforme Dallago, Smaniotto e Oliveira, (2005) um dos materiais adsorventes mais utilizados atualmente é o carvão ativado. Este por sua vez, possui um alto custo no mercado, e assim, vários estudos vêm sendo aprimorados a fim de encontrar materiais alternativos de baixo custo que apresentem uma boa capacidade adsorvente.

### **3.4.1 Adsorção**

O método de adsorção é caracterizado pelo fenômeno de transferência de massa, ou seja, é o processo separação de uma fase fluída, denominada adsorvato, por meio de uma superfície sólida porosa, denominada adsorvente (NASCIMENTO et al., 2020). Esse fenômeno tem se mostrado um dos processos mais eficientes para a remoção de efluentes têxteis apresentando importância biológica, tecnológica e praticidade nas aplicações. Diversos adsorventes vêm sendo desenvolvidos, como a alumina, turfa, sepiolita, zeólita, derivados de celulose, carvão ativado, dentre outros (BRUNO, 2008).

Além disso, o método também vem se destacando por não apresentar ocorrência de intermediários e depende apenas de fatores físico-químicos, como área superficial dos adsorventes, tamanho das partículas, propriedades físicas, características estruturais e morfológicas, pH, interação entre adsorvente e corante, temperatura e tempos de contato (SCHIMMEL, 2008). Diante dessas características, a técnica tem sido empregada em práticas como purificação de líquidos, separação de gases, dissecante e catálise, controle de poluição, demonstrando ser uma das técnicas mais acessível e eficiente para o tratamento de água (SOARES, 2017).

O processo de adsorção possui natureza e intensidade variadas, podendo ser classificado como adsorção física/fisissorção e adsorção química/quimissorção (SANTOS, 2021). Na fisissorção a interação entre adsorvente-adsorvato é de natureza fraca, visto que, essa interação ocorre devido às forças de Van der Waals. Por outro lado, na quimissorção a interação entre adsorvente e adsorvato é de natureza forte, uma vez que, ocorre uma reação química com

compartilhamento de elétrons (SOARES, 2017). Dessa forma, na quimissorção dependendo de qual molécula foi adsorvida, pode ocorrer a perda da identidade dessa molécula, o que não acontece na fisissorção (NASCIMENTO, et al., 2014).

**Tabela 4** – principais diferenças entre os mecanismos de adsorção.

Adsorção física	Adsorção Química
Ocorrência de forças de Van der Waals	Ocorrência de ligações covalente e forças eletrostáticas
Não há compartilhamento de elétrons	Há compartilhamento de elétrons
Baixo calor de adsorção	Alto calor de adsorção
Processo genérico para qualquer espécie	Processo específico e seletivo
Formação de Mono ou Multicamadas	Formação de Monocamadas
Adsorvente pouco afetado	Superfície do adsorvente altamente modificada
Rápida ou Lenta	Instantânea
Não ocorre dissociação das espécies envolvidas	Ocorre dissociação das espécies envolvidas

**Fonte:** adaptada de Teixeira; Coutinho; Gomes, 2001; Santos, 2021.

#### 3.4.1.1 Adsorção física

A adsorção física, também chamada de fisissorção, acontece por meio da interação de forças de Van der Waals, na qual as moléculas encontram-se fracamente ligadas, além disso, a energia liberada quando uma molécula é adsorvida fisicamente possui a mesma ordem de grandeza que a entalpia de condensação (ATKINS, 2018). Na adsorção física, a energia envolvida durante reação é consideravelmente baixa a ponto de não ser o suficiente para romper a ligação, possibilitando quase sempre a reversibilidade do processo, uma vez que, a integridade da molécula é preservada (ATKINS, 2003).

Fernandes (2005), aponta que no processo de fisissorção pode ocorrer a formação de mono ou multicamadas na superfície sólida, já que, as moléculas envolvidas são atraídas para a superfície por uma força mais forte que a força que as mantém ligadas no fluido. A variação

de entalpia negativa caracteriza a reação como exotérmica, isso mostra que o aumento de temperatura desfavorece o processo, uma vez que, produz a diminuição considerável na quantidade adsorvida (LOPES, 2020).

#### 3.4.1.2 Adsorção química

A adsorção química, também denominada quimissorção, ocorre por meio da transferência ou compartilhamento de elétrons entre as moléculas do adsorvato e a superfície do adsorvente. A força das ligações química depende dos compostos envolvidos, no entanto, devido ao alto grau de energia presente, essa reação química modificará a estrutura do adsorvato, o qual se transformará em um novo composto na superfície sólida (BORBA, 2006). A ligação presente na quimissorção nessa superfície é consideravelmente forte, o que torna praticamente o processo irreversível. Dessa forma, não é possível que a substância quimissorvida retorne as condições iniciais pelo processo de dessorção (ALVES, 2007).

De acordo com Rodrigues (2002) durante a adsorção química as moléculas das substâncias removidas são ligadas na superfície sólida de tal forma que apenas a camada superficial reage, e as camadas internas do adsorvente permanecem inutilizáveis. Segundo Lucena (2018) isso ocorre devido à ligação com sítio ativo do adsorvente por meio de uma reação química, o que resultará apenas em monocamadas.

### 3.5 Materiais adsorventes

Segundo Milhomem (2018) os adsorventes são conceituados como materiais porosos com área superficial elevada para uma determinada massa. Esse por sua vez, pode ser classificado conforme o tamanho dos poros, e, também, por sua polaridade. O tamanho dos poros e como eles estão distribuídos influência diretamente na capacidade de adsorção do adsorvente (FENNER, 2022). Por outro lado, a polaridade pode ser classificada como hidrofílicas ou polares e hidrofóbicas ou apolares (SILVA, 2015). Nesse contexto, é importante salientar, para considerar que um adsorvente seja bom, ele deve apresentar as seguintes características: desempenho e capacidade de operação, tolerância a impurezas, baixo custo, dentre outros (GOUVEIA, 2020).

Com base nesses aspectos, atualmente dentre os adsorventes mais utilizados comercialmente estão a sílica gel, as zeólitas, a alumina ativada, carvão ativado, polímeros

orgânicos e argilas diversas (KYZAS, et al., 2015). Embora exista essas possibilidades de adsorventes no mercado, pesquisadores vêm buscando soluções alternativas de materiais adsorventes, a exemplo, a quitosana vem se destacando como um material adsorvente não convencional bastante promissor e versátil no preparo de compósitos carvão ativado, nanotubo de carbono, dentre outros (MELLO, 2020; FREITAS, 2020). A quitosana pode ser empregada na remoção de efluentes contaminados por indústrias, como metais tóxicos, corantes alimentícios e corantes têxteis (PICCIN et al., 2009; MOURA, 2014; CAMARA, 2014).

### 3.5.1 Uso de quitosana como adsorvente

Em consonância com Freitas (2020) a quitosana é um biopolímero sintetizada a partir da desacetilação da quitina. É considerada um dos biopolímeros mais abundante da natureza, formado por unidades repetidas de unidades de 2-amino 2-desoxi-d-glucopiranosose e unidades de 2-acetamido-2-desoxi-d-glucopiranosose, podendo ser encontrada em carapaça de crustáceos (camarão, caranguejo, lagostas) e parede celular de fungos (LIU et al., 2012; NEGM et al., 2020). É empregado em várias áreas como na fabricação de embalagens, na biorremediação por adsorção de corantes, na redução de colesterol, além disso, é um composto renovável, alta bioatividade, biodegradabilidade, baixa toxicidade, dentre outros (SINGH et al., 2008; NESIC; VELICKOVIC; ANTONOVIC, 2012).

Conforme Mello (2020) a quitosana possui em sua composição grupos funcionais acessíveis como amina primária (NH) e grupo hidroxila primária e secundária (OH), os quais tornam a sua estrutura quimicamente reativa. Apesar de sua versatilidade como adsorvente, esse biopolímero não é vantajoso ser utilizado na forma pura, visto que, possui baixa estabilidade. No entanto, isso pode ser melhorado com a adição de agente reticulante e de carga no decorrer da utilização (TRAN et al., 2012). Além disso, a quitosana como adsorvente pode ser melhorado com a adição de substâncias como argila, areia e carvão ativado. A vantagem da adição do carvão ativado é devido à boa capacidade de adsorção em diversos poluentes, boa resistência mecânica e possui um elevada área superficial (SHARIFARD; NABAVINIA; SOLEIMANI, 2016).

O carvão ativado é um adsorvente promissor é bastante utilizado para remoção de impurezas em efluentes líquidos (MOREIRA, 2010). Em consonância com Araújo (2019) essa capacidade, é devido a sua capacidade estrutural que lhe concede uma grande área superficial e à distribuição de tamanho dos poros apropriadas. Além disso, a natureza química desses carvões possibilita que sua superfície seja facilmente modificada por tratamento químico (2014

apud ARAÚJO, 2019, p. 21). Apesar disso, esse material na sua grande parte é produzido por materiais não renováveis, como o carvão mineral (FREITAS, 2020). Devido a isso, pesquisadores têm aprimorado seus estudos buscando e investigando novos precursores com alta disponibilidade, baixo custo e renováveis. Dessa forma, estudos apontam que utilização de resíduos agrícolas e florestais (casca de coco, casca de arroz, casca da castanha-do-pará) para a produção de carvão ativado, compósitos e biorchas, têm mostrado uma capacidade de adsorção bastante eficiente (PREMARATHNA et al., 2019; LOPES 2020).

### 3.6 Castanha-do-pará

A espécie arbórea, apresentada na Figura 3, possui como nome científico *Bertholletia excelsa*, todavia, é popularmente chamada por castanheira. É uma planta nativa da Amazônia e pertence à família Lecythidaceae. Santos (2021) afirma que em sua fase adulta, a árvore pode atingir uma altura de 60 m. Apesar de sua maior extensão pertencer ao Brasil, sua amplitude geográfica abrange países como Venezuela, Colômbia, Peru Bolívia e Guiana Francesa (LORENZZI, 2000). No Brasil, a árvore pode ser encontrada em alguns Estados como Pará, Amazonas, Tocantins, Roraima, Amapá, Mato Grosso, dentre outros. Em virtude de sua grande importância social, ecológica e econômica, a castanheira tornou-se o símbolo da Amazônia (SILVA, et al. 2013).

**Figura 3** – Castanheira do Pará (*Bertholletia excelsa*)



**Fonte:** Autor, 2022.

A castanheira produz um fruto comestível denominado castanha-do-pará, apresentado na Figura 4, está entre os produtos mais comercializados do Brasil oriundo do extrativismo. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2020, o Brasil produziu cerca de 33.118 toneladas do fruto. Conforme Sá, Bayma e Wadt, (2008) destacam o extrativismo e o beneficiamento do fruto sustentam diversas comunidades da Amazônia. O fruto em formato esférico, é conhecido como ouriço, possui uma massa aproximadamente de 2,4 kg e no seu interior em média 25 unidades de castanhas com uma massa aproximada de 1,0 kg, isso mostra que a maior parte do fruto se torna resíduos, já que, em geral, apenas as amêndoas são aproveitadas (OLIVEIRA; LOBO, 2002).

**Figura 4** - Fruto da castanheira



Fonte: Autor, 2022.

A partir disso, pesquisadores têm buscado formas de reaproveitamento desses resíduos, dentre elas, destaca-se a produção de carvão ativado. De acordo com Santiago (2005), adquire-se o carvão ativado por meio da decomposição térmica de materiais carbonáceos. Uma pesquisa realizada por Del Piero (2018) levou a produção de carvão partindo do ouriço e da casca da castanha-do-pará, em temperaturas de 300 °C, 350 °C e 400 °C. Os dois resíduos nas mesmas condições de queima, mostrou uma perda de massa de 90% para o ouriço e 46% para a casca, sendo o último mais eficiente para a produção de carvão ativado. A utilização desses carvões minimiza os impactos ambientais, uma vez que, esse tipo de carvão é de origem renovável e pode ser muito útil na substituição do carvão mineral, o qual não pode ser classificado como de origem renovável (2014, apud DEL PIERO, 2018, p. 12).

Duarte et al., (2022) realizou uma pesquisa com a casca da castanha-do-pará para a obtenção do carvão ativado com cloreto de zinco ( $ZnCl_2$ ). A pesquisa teve como objetivo descobrir a capacidade adsorptiva do carvão na presença do corante azul de metileno em solução.

As amostras foram impregnadas com  $ZnCl_2$  sob agitação, em seguida, submetidas a secagem em estufa a 105 °C, após isso carbonizadas a 500 °C. Feito isso, a amostra foi lavada com ácido clorídrico (HCl a 1,0 mol/L) e água até o pH neutro. O material obtido apresentou um resultado promissor, visto que, atingiu o índice de remoção de 99%. Isso mostra que o carvão ativado a partir dessa matéria-prima pode ser muito benéfico, além disso, é uma excelente alternativa de baixo custo.

#### 4 METODOLOGIA

A metodologia apresentada foi desenvolvida no Laboratório da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará- UNIFESSPA, Unidade II, campus Marabá, Pará.

As cascas da castanha-do-pará foram coletadas na feira Ver o Peso na Cidade de Belém-Pa. Após a coleta, as amostras passaram por processo de remoção de impurezas e depois lavadas em água corrente, em seguida secas em estufa a 110 °C. Após isso, levou-se para o processo de trituração no moinho de facas modelo NL-226/02 (New Lab, Brasil).

##### 4.1 Carbonização do material oriundo da casca da castanha-do-pará.

Com as amostras devidamente tratadas e trituradas, as mesmas foram sintetizadas em um forno mufla da marca magnus. Inicialmente, pesou-se 50 g da amostra e transferiu-se para um cadinho medindo 15 cm de comprimento, 8 cm de diâmetro e paredes de 1 cm de espessuras. Posteriormente, com a mufla previamente a 500 °C por 1 h, adicionou o cadinho e deixou por 2 h em carbonização. Após esse tempo, o cadinho permaneceu na mufla desligada por 30 min. O mesmo processo foi realizado na temperatura de 800 °C. Por conseguinte, os materiais sintetizados a 800°C foi classificado na peneira de granulometria de 325 mesh do tipo Tyler (Bertel, Brasil). Após isso, a amostra foi denominada de CA-800325.

De acordo com Ramos (2005) a obtenção de rendimento do carvão ativado (RCA) e de rendimento de materiais voláteis do carvão (RMV) são obtidos por meio das Equações (1) e (2), respectivamente:

$$RCA(\%) = \frac{MAC}{MASC} \times 100 \quad (1)$$

$$RMV(\%) = 100 - RCA \quad (2)$$

onde, MCA é a massa de carvão ativado e MSC é a massa da amostra antes da carbonização.

## **4.2 Preparo do compósito de quitosana**

Seguindo a metodologia de Quesada e colaboradores (2020) a qual afirma que para o processo de adsorção a forma de quitosana mais utilizada é em grânulos, a mesma situação é válida na preparação dos compósitos de carvão/quitosana. A partir dessa informação, iniciou-se o preparo do compósito o qual foi dividido em quatro etapas.

### **4.2.1 Preparo do gel do compósito**

Foram preparados géis do compósito em composições distintas: 1 g e 2 g de quitosana os quais foram denominados de CA/Q1g e CA/Q2g. Em um Becker de 50 mL dissolveu-se a quitosana em ácido acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) a 1%. Com adição da quitosana em ácido acético ocorre a protonação dos grupos aminas, facilitando o processo de adsorção, uma vez que, seus grupos funcionais ficam disponíveis (FREITAS,2020;). Posteriormente, levou-se a mistura para a agitação no shaker do tipo Fisatom 786 a rotação de 80 rpm. Em seguida, foi adicionado lentamente 5 g de carvão CA-800325. Após isso, a mistura permaneceu em agitação por 8 h.

### **4.2.2 Processo de precipitação das esferas de compósito de quitosana**

Na segunda etapa, por meio do banho de álcali/coagulação, no qual ocorre precipitação da quitosana, foi adicionado a um Becker de 500 mL uma solução de Hidróxido de Sódio (NaOH) a 0,5 M e levou-se para a agitação em um shaker na rotação de 80 rpm. Feito isso, com o auxílio de uma seringa de 20 mL foram gotejadas lentamente o gel do compósito na solução de NaOH. Finalizado o processo de gotejamento, os grânulos permaneceram em agitação na solução por 12h.

### **4.2. 3 Processo de estabilização das esferas**

Em um processo de adsorção em águas residuais ácidas, a baixa estabilidade da quitosana nessas condições pode não ser favoráveis. Todavia, essa baixa estabilidade pode ser resolvida com a ação de um agente reticulante, o qual proporciona preservação do biopolímero por meio da formação de ligações entre as cadeias de quitosana (JÓZWIAK et al., 2017). Nesse

caso, o agente reticulante utilizado foi o glutaraldeído a 5% e 2,5% em etanol (pureza de 98,99%) para as respectivas massas de 1g e 2g de quitosana.

Decorrida às 12h do processo de precipitação das esferas, ainda sob agitação foi adicionada a solução reticulante sobre as esferas em solução de NaOH. Feito isso, a etapa continuou em agitação por mais 24h.

#### 4.2.4 Lavagem e secagem do compósito de quitosana

Nesta etapa, a fim de separar as esferas da parte líquida, estas foram filtradas com o auxílio de uma bomba a vácuo e lavadas com água destilada até obter o pH neutro. Feito isso, as esferas foram levadas à estufa a 100 °C até a secagem total.

### 4.3 Caracterização dos materiais adsorventes em espectroscopia vibracional na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)

As amostras da biomassa *in natura*, carbonizada a 800 °C e os compósitos carvão/quitosana foram analisadas em um espectrômetro de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) [Cary 630 FTIR (Agilent Technologies, Malásia)]. As análises foram realizadas utilizando-se acessório de reflectância total atenuada (ATR) com faixa espectral de 500 a 4000  $\text{cm}^{-1}$ , com 2  $\text{cm}^{-1}$  de resolução, e 256 varreduras para todas as amostras no modo Transmittância. Primeiramente, uma pequena quantidade da amostra foi espalhada sobre a superfície do cristal de ATR, posteriormente a obtenção do espectro foi realizada e processada utilizando-se o software Agilent MicroLab PC software<sup>®</sup>. Entre as amostras, o acessório ATR foi limpo com algodão e álcool etílico P.A. Os dados foram tratados pelo software Origin versão 2022b.

#### 4.4 Obtenção da curva de calibração

##### 4.4.1 Obtenção da curva de calibração do corante reativo laranja 16 (RL-16)

Inicialmente foi preparada a primeira solução estoque, na qual foi utilizada o corante aniônico RL-16, fabricado pela empresa Sigma-Aldrich, Saint Lois, Usa. O RL-16 cujo peso molecular é de 617,54 g/mol e pureza 60%. Primeiramente, para obter a solução estoque padrão de 1170 mg/L, em uma balança analítica pesou-se 1,67 g do corante e dissolveu em 1000 mL de água destilada. A partir da solução estoque, realizou-se o experimento da construção da curva de calibração, em duplicata. Para isso, foram realizadas diluições sucessivas, obtendo-se as

concentrações de 0 mg/L a 30 mg/L em tubos de 2 mL do tipo *enppendorf* com volume total de 1,5 mL. As alíquotas dessas soluções foram adicionadas em cubeta de quartzo com caminho óptico de 1 cm e 1 mL, e submetidas a leituras em um espectrofotômetro UV-VIS da marca Bel SpectroS05 na faixa de comprimento de onda de 504 nm.

#### 4.4.2 Obtenção da curva de calibração do corante azul de toluidina (Tb)

Seguindo a mesma metodologia do corante RL-16 para a curva de calibração, foi preparada a solução estoque do corante Azul de Toluidina, adquirido da empresa Synth, cujo peso molecular é de 305,80 g/mol e pureza de 98 %. No preparo da solução estoque padrão de concentração de 1000 mg/L, em uma balança analítica pesou-se 1 g de corante Tb e dissolveu em 1000 mL de água destilada. Partindo da solução estoque, em duplicata, foram realizadas diluições sucessivas, obtendo-se as concentrações de 0 mg/L a 10 mg/L em tubos de 2 mL do tipo *enppendorf* com volume total de 1,5 mL. As alíquotas dessas soluções foram adicionadas em cubeta de quartzo com caminho óptico de 1 cm e 1 mL, e submetidas a leituras em um espectrofotômetro UV-VIS da marca Bel SpectroS05 na faixa de comprimento de onda de 630 nm.

#### 4.5 Efeitos da dosagem e do pH no carvão não modificado

##### 4.5.1 Efeitos da dosagem

Nos ensaios de dosagem, a partir das soluções estoque padrão dos corantes RL-16 e Tb, preparou-se uma solução de 234 mg/L. Inicialmente, alíquotas de 100 mL dessa solução foram transferidas para nove frascos do tipo erlernmeyer de 125 mL. Posteriormente, em cada erlernmeyer contendo a solução foi adicionado 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9 e 1,0 g do carvão CA-800325. Em seguida, a mistura foi submetida a agitação em um shaker do tipo Fisatom a 786 a 25 °C a rotação de 200 rpm por 200 min. Finalizado o tempo de agitação, a fim de separar o sobrenadante, levou-se a mistura a uma centrífuga (80-2b) a rotação de 3000 rpm. Por fim, efetuou-se as leituras dos sobrenadantes sem/com diluição em cubeta de quartzo com caminho óptico de 1 cm e 1 mL, em um espectrofotômetro UV-VIS da marca Bel SpectroS05 na faixa de comprimento de onda de 504 nm para o corante RL-16 e 630 nm para o corante Tb.

#### 4.5.2 Efeito do pH na solução

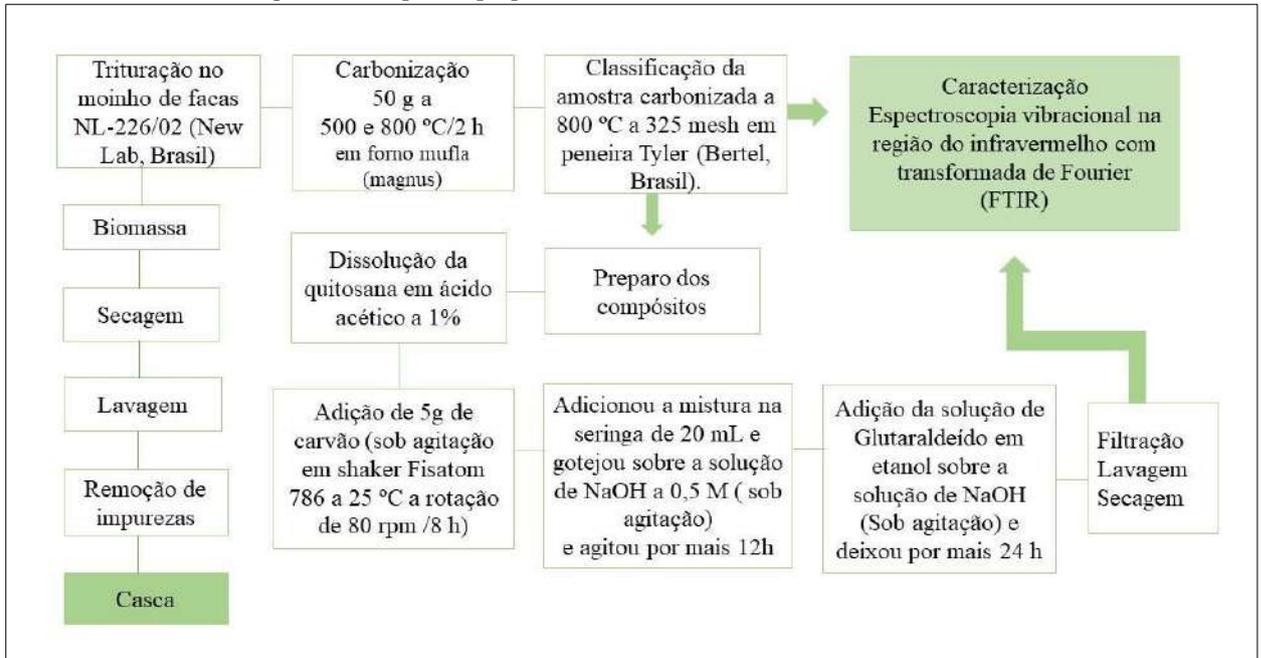
Nesta etapa, a metodologia foi semelhante para ambos os corantes. Inicialmente, foram retiradas da solução de concentração de  $234 \text{ mg L}^{-1}$  alíquotas de 100mL. Em seguida transferiu-se para frascos do tipo erlernmeyer de 125 mL. Posteriormente, nas soluções contidas nos frascos, foram adicionados pequenos volumes de NaOH ( $0,5 \text{ mol/L}$ ) e HCl ( $0,5 \text{ mol/L}$ ). Esses ajustes ocorreram para os valores de pH de 1,0, 2,0, 4,0, 6,0, 7,0, 8,0 e 9,0 os quais foram aferidos em um phmetro da marca MS TECOPON mPA-210. Com o objetivo de verificar a estabilização, o pH foi aferido novamente após 24 h. Após isso, foram adicionados o carvão CA-800<sup>325</sup> em contanto com as soluções. Em seguida, a mistura foi submetida a agitação em um shaker do tipo Fisatom a 786 a  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  a rotação de 200 rpm por 200 min. Finalizado o tempo de agitação, a fim de separar o sobrenadante, levou-se a mistura a uma centrífuga (80-2b) a rotação de 3000 rpm. Por fim, efetuou-se as leituras dos sobrenadantes sem/com diluição em cubeta de quartzo com caminho óptico de 1 cm e 1 mL, em um espectrofotômetro UV-VIS da marca Bel SpectroS05 na faixa de comprimento de onda de 504 nm para o corante RL-16 e 630 nm para o corante Tb.

#### 4.6 Ensaios de adsorção do compósito carvão/quitosana

A fim de quantificar o grau de remoção dos compósitos, para as soluções dos corantes RL-16 e Tb. Foram realizados os ensaios com carvão comercial (CAC) em pó, da marca êxodo científica, CAS: [7440-440] e com os compósitos carvão/quitosana. Inicialmente, foram adicionados em três frascos de erlernmeyer de 125 mL três alíquotas de 100 mL das soluções na concentração de  $234 \text{ mg L}^{-1}$ . Em seguida, no primeiro frasco foi adicionado carvão comercial e, nos dois últimos, foram adicionados os compósitos carvão/quitosana em granulados contendo a variação de 1 e 2g de adição de quitosana conforme descrita no item 4.2.1. O experimento foi submetido a condições otimizadas,  $25^\circ \text{C}$  a rotação de 200 rmp a 200 min. Finalizado o tempo de agitação, a fim de separar o sobrenadante, levou-se a mistura a uma centrífuga (80-2b) a rotação de 3000 rpm. Por fim, efetuou-se as leituras dos sobrenadantes sem/com diluição em cubeta de quartzo com caminho óptico de 1 cm e 1 mL, em um espectrofotômetro UV-VIS da marca Bel SpectroS05 na faixa de comprimento de onda de 504 nm para o corante RL-16 e 630 nm para o corante Tb.

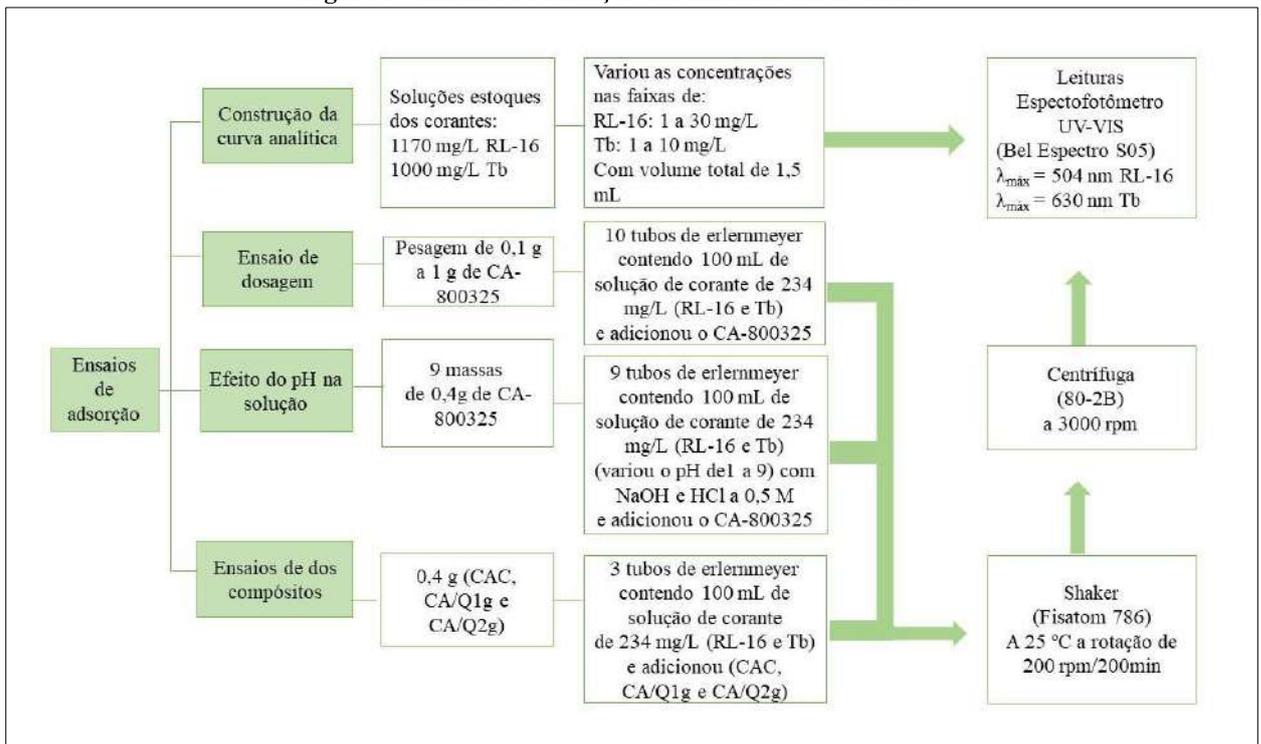
As etapas do preparo das sínteses, da caracterização e dos ensaios de adsorção dos materiais adsorventes podem ser observadas nas Figuras 5 e 6.

**Figura 5** - Etapas de preparo das sínteses dos materiais adsorventes



Fonte: Autor, 2022.

**Figura 6** - Ensaios de adsorção dos materiais adsorventes



Fonte: Autor, 2022.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Ensaios da carbonização do endocarpo da castanha-do-pará

A Figura 7 apresenta as amostras após a carbonização de 50g da casca da castanha-do-pará após 2h nas temperaturas de 500 °C e 800 °C sem granulometria definida. As amostras foram denominadas respectivamente por CA-500 e CA-800.

**Figura 7** – Amostras de 50 g após a carbonização a 500 °C e 800 °C em forno mufla por 2h



Fonte: Autor, 2022.

Por meio da Figura 7, pode-se observar que apesar da variação da temperatura, as amostras apresentaram aspectos semelhantes como boa homogeneidade da calcinação e sendo quase imperceptíveis a presença de cinzas.

Apesar do aspecto visual semelhante em ambas, para dar continuidade ao trabalho foi necessário registrar os valores das massas antes e após a carbonização de cada amostra adquiridos durante os ensaios de calcinação, a fim de conhecer qual material obteve o melhor rendimento. Para isso, a Tabela 5 apresenta os rendimentos médios de carvão ativado (RCA) e dos materiais voláteis (RMV) dos carvões CA-500 e CA-800.

**Tabela 5** – Rendimento das amostras após o processo de calcinação a 500 °C e 800 °C em forno mufla por 2h

Amostras	$M_f$ (g)	RCA %	RMV %
CA-500	22,53	45,06	54,94
CA-800	11,95	23,99	76,01

Fonte: Autor, 2022

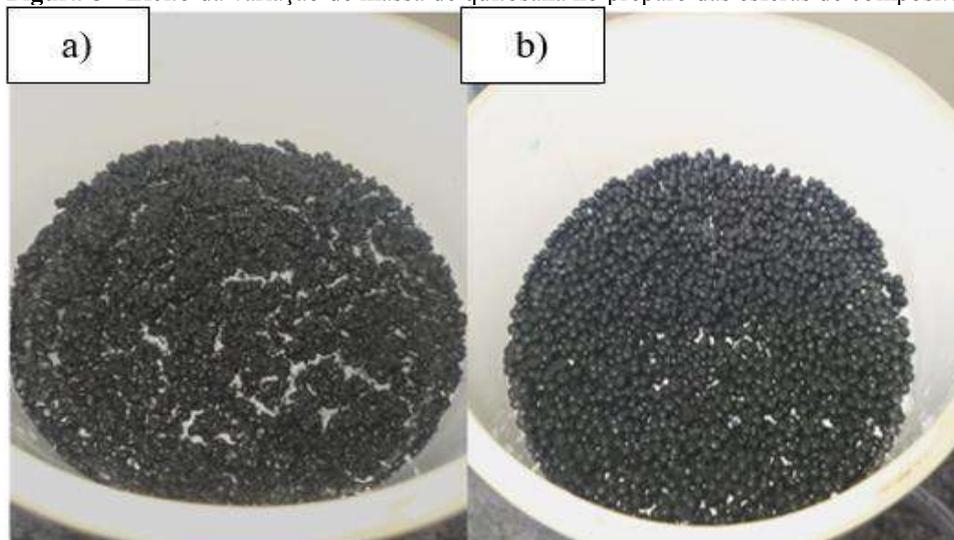
Analisando os dados da Tabela 5, foi possível observar que o CA-500 obteve um rendimento superior ao CA-800. No entanto, pesquisadores apontam que a temperatura na pirólise é um parâmetro essencial no processo, haja vista que, quanto maior for a temperatura, maior será a decomposição e volatilização do material calcinado, influenciando positivamente nas propriedades estruturais do CA em relação a área superficial e ao tamanho dos poros, além disso, diminui o tamanho do sólido favorecendo uma maior porcentagem de carbono fixo (PALMA et al., 2016). Fazendo uma comparação com estudos realizado por Bonelli et al. (2001) o resultado do RC de 23,99% do CA-800 está bem próximo do rendimento esperado, pois segundo o autor o carvão obtido por meio de resíduos da castanha-do-pará apresenta um teor de 22,2% de carbono fixo.

Mello e colaboradores (2015) também realizou estudos com resíduos da castanha-do-pará por meio da ativação térmica por 2 h a 800 °C, tendo como resultado 28,18 % de rendimento. Dessa forma, por meio dos aspectos visuais analisados e comparando os valores para RCA e RMV, os ensaios de adsorção foram realizados com o carvão ativado a 800 °C classificado em peneira Tyler (Bertel Brasil) (CA-800325).

## 5.2 Preparo dos compósitos de quitosana utilizando o CA-800325

A Figura 8 apresenta a diferença em relação ao aspecto visual, do efeito da variação de massa da quitosana no preparo das esferas de compósito carvão/quitosana utilizando 5 g do CA-800325 denominadas de CA/Q1g (a) e CA/Q2g (b) as quais foram reticuladas com glutaraldeído a 5 % e 2,5 %, respectivamente.

**Figura 8** - Efeito da variação de massa de quitosana no preparo das esferas de compósitos



Fonte: Autor, 2022.

Nota-se que na Figura 8 (a) o aumento da massa de quitosana apresentou resultados mais satisfatórios, já que, as esferas apresentaram formatos mais esférico do que os resultados reportados na Figura 8 (b). Isso mostra que a diminuição da porcentagem do agente reticulante não influenciou significativamente na estabilidade das esferas em relação ao aumento da massa.

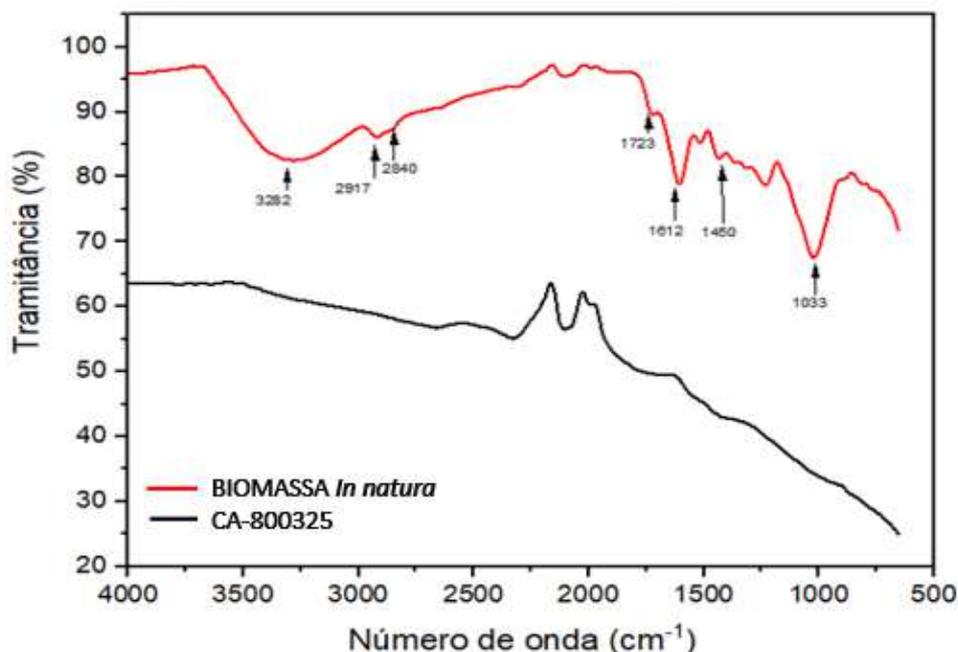
Almeida (2011) realizou um estudo com o objetivo de preparar esferas de  $\text{TiO}_2$ -quitosana, utilizando 1,5g de quitosana e como agente reticulante o glutaraldeído a 2,5 %, e, também obteve como resultado esferas bem definidas e estáveis.

### 5.3 Caracterização dos materiais adsorventes

#### 5.3.1 Espectroscopia vibracional na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) do CA-800325

A Figura 9 mostra os espectros na região do infravermelho para as amostras obtidas da casca da castanha-do-pará *in natura* (em vermelho) e do CA-800325 (em preto) na faixa de 500 a 4000  $\text{cm}^{-1}$ .

**Figura 9** – Espectros na região do infravermelho da casca da castanha-do-pará *in natura* e carbonizada a 800 °C



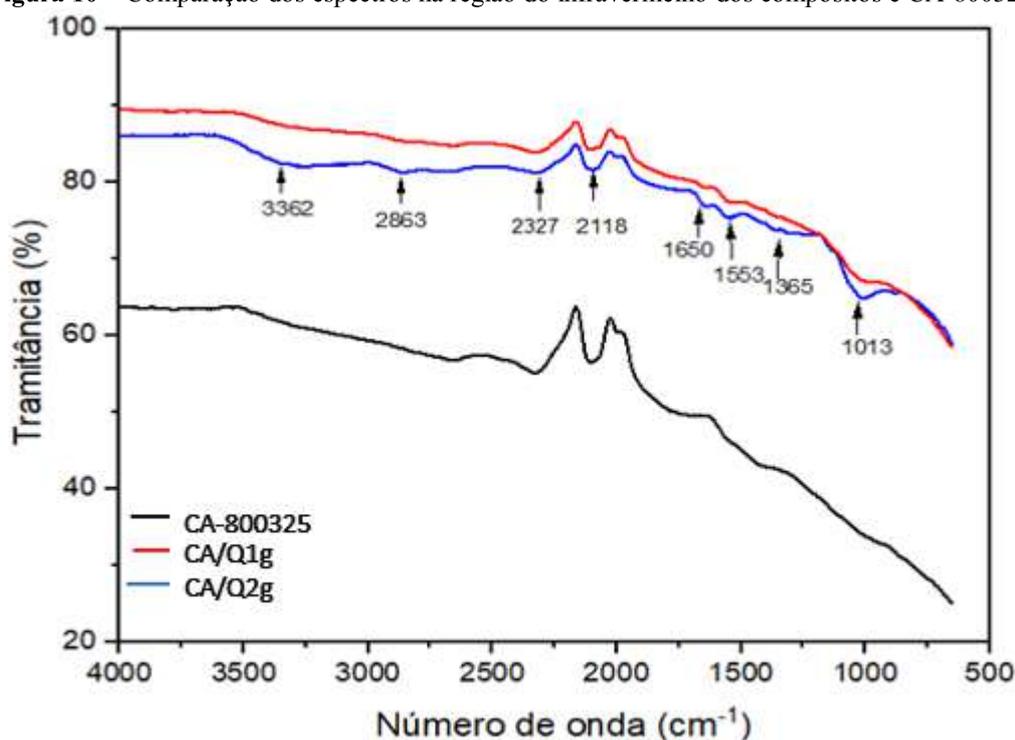
Fonte: Autor, 2022.

A Figura 9 apresenta na amostra *in natura* uma banda larga na região de  $3282\text{ cm}^{-1}$  a qual é atribuída ao estiramento vibracional de O-H caracterizando a presença de água na amostra *in natura*. Lopes, (2020) também ressalta a presença dessa banda na superfície de materiais carbonáceos. Nas regiões  $2917$  e  $2840\text{ cm}^{-1}$  apresentam bandas médias de estiramento de C-H de ( $\text{CH}_2$  e  $\text{CH}_3$ ), respectivamente. Observa-se também nas regiões de  $1612$  estiramentos médios de C=C, possivelmente de anel aromáticos e em  $1033\text{ cm}^{-1}$  atribuído ao estiramento de C-O-C (MARTINS, et al., 2007; SALIM; ASIK; SARJADI, 2021). Comparando os espectros da amostra *in natura* com o da amostra carbonizada obtido do CA-800<sup>325</sup> observa-se uma diminuição considerável e até mesmo a ausência das bandas. Isso acontece porque o processo de carbonização, resulta na degradação estrutural das substâncias químicas presentes na amostra, enquanto que a água, CO, CO<sub>2</sub> e outros possíveis gases são liberados (SANTOS, 2021). Assim, sugere que a redução da biomassa *in natura* ocorreu de forma satisfatória.

### 5.3.2 Espectroscopia vibracional na região do infravermelho (FTIR) dos compósitos de quitosana

A Figura 10 mostra os espectros na região do infravermelho na faixa de  $500$  a  $4000\text{ cm}^{-1}$  das amostras CA/Q1g (em vermelho) e CA/Q2g (em azul), a fim de, comparar os grupos funcionais presentes nos compósitos em relação a amostra de CA-800<sup>325</sup> (em preto).

**Figura 10** – Comparação dos espectros na região do infravermelho dos compósitos e CA-800325

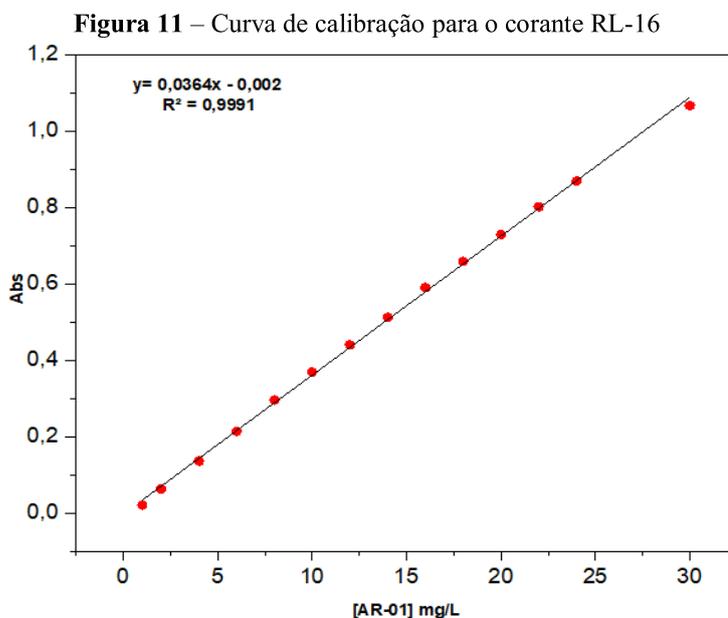


Fonte: Autor, 2022.

Comparando os espectros das esferas com CA-800325, observa-se que em CA/Q1g e CA/Q2g apareceram bandas iguais, porém, o aumento da massa do polímero proporcionou maiores intensidade das bandas para a amostra de CA/Q2g. Nota-se que nos compósitos apresenta um banda na região  $3362\text{ cm}^{-1}$  que pode ser atribuídas às vibrações do estiramento das ligações dos grupos O-H e N-H (VAKILI et al., 2015). É subtendido que interação do agente reticulante acontece por meio dos grupos aminos protonados ( $\text{NH}^+$ ), e essa interação iônica pode ser evidenciada próximo a região de  $1553\text{ cm}^{-1}$ , já para vibrações em torno de  $2863$  e  $1365\text{ cm}^{-1}$ , podem estar relacionadas a bandas que correspondem a estiramento de C-H de grupamentos metilênicos e metílicos (AMARANTE; GARCIA; BARBOSA, 2016). As amostras também apresentaram bandas nas regiões de  $1650\text{ cm}^{-1}$  estiramento fraco que possivelmente podem estar relacionados a C=C e em  $1013\text{ cm}^{-1}$  e bandas que corresponde às vibrações das ligações de C-O (SOBREIRA et al., 2020). Dessa forma, os espectros mostram que para as amostras de CA/Q1g e CA/Q2g foram identificadas bandas características da quitosana já registrados em outros estudos (FÁVERA; RIELLA; ROSA, 2010; AMARANTE; GARCIA; BARBOSA, 2016; CRUZ, 2018; SOBREIRA et al., 2020).

#### 5.4 Curva de Calibração do corante RL-16

A curva de calibração teve como objetivo relacionar as medidas de absorvância lidas com as concentrações pré-estabelecidas (1 a 30 mg/L). Sendo assim, na Figura 11 apresenta o a curva obtida para o corante reativo laranja 16 na faixa de 504 nm.



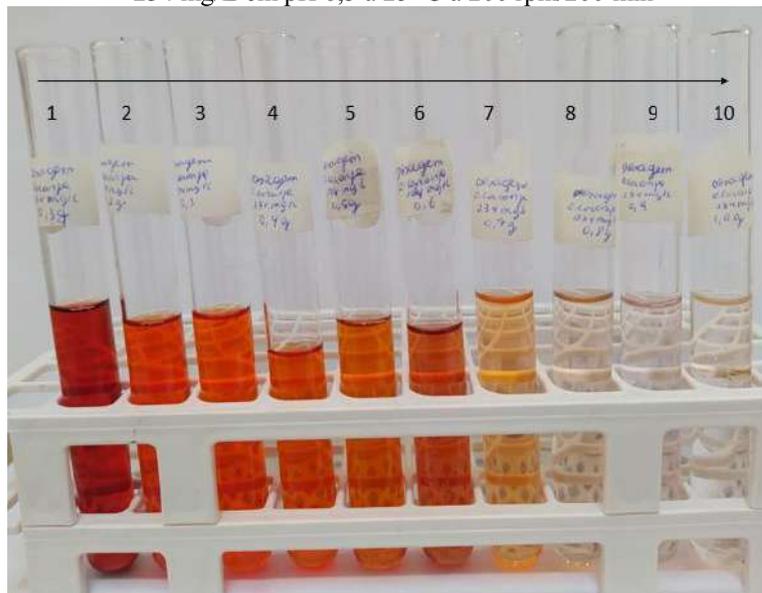
Fonte: Autor, 2022.

A partir do coeficiente de correlação  $R^2 = 0,9991$ , nota-se que o gráfico pode ser usado como um parâmetro nos ensaios de adsorção, uma vez que, foi possível observar uma excelente linearidade para a faixa de concentração analisada, respeitando assim a lei de Lambert Beer. Dessa forma, a equação  $ABS = 0,0364 * conc - 0,002$  descreve a relação da concentração (eixo X) em função da absorvância (eixo Y). Outro aspecto importante é que para valores acima de 30 mg/L o gráfico apresentou um desvio da linearidade, sendo necessário a realização de diluições.

#### 5.5 Efeito da dosagem de massa do CA-800325 na adsorção do RL-16

A dosagem do adsorvente é considerada um parâmetro importante devido a sua alta influencia no efeito da capacidade adsortiva. Diante disso, o efeito da dose de adsorvente, CA-800325, na remoção do RL-16 foi monitorado na faixa de 1 a 10 g L<sup>-1</sup> de adsorvente (Figura 12).

**Figura 12** – Efeito dos ensaios de dosagem de CA-800325 na remoção do corante RL-16 na concentração de 234 mg/L em pH 6,5 a 25 °C a 200 rpm/200 min



Fonte: Autor, 2022.

Observa-se que para o corante RL-16 a interação não ocorreu de forma satisfatória, uma vez que, os sobrenadantes apresentaram forte coloração até a concentração de 7 g/L, sendo possível notar uma mudança significativa somente a partir de 8 g/L. Segundo Silveira (2013) quando a massa de adsorvente é insuficiente, a adsorção será ineficiente, no entanto, o excesso torna-se um desperdício. Dessa forma, infere-se que a quantidade de adsorvente para remoção do RL-16 não é economicamente viável, visto que, a literatura apresentou melhores resultados de remoção em dosagens de adsorvente bem inferiores a reportada nesse estudo.

Lopes (2020) em seu estudo avaliou a eficiência da remoção do corante reativo amarelo 17 na concentração de 300 mg/L utilizando 0,5 g/L de carvão ativado da casca da castanha-do-pará, e obteve bons índices de remoção.

### **5.6 Estudo da capacidade de adsorção do CA-800325 em função do pH na solução de corante RL-16**

A mudança de coloração associada a interação do RL-16 como o CA-800325, em função do pH na faixa de 1 a 9, concentração de 234 mg/L a 25 °C a rotação de 2 rpm por 200 min é mostrada na Figura 13. Embora os resultados apresentem uma remoção em pH ácido, essa remoção não foi muito significativa. Segundo Maurya et al. (2006) a interação presente entre adsorvente e a molécula do corante, em suma, resulta na combinação de carga nas moléculas do corante e na superfície do adsorvente.

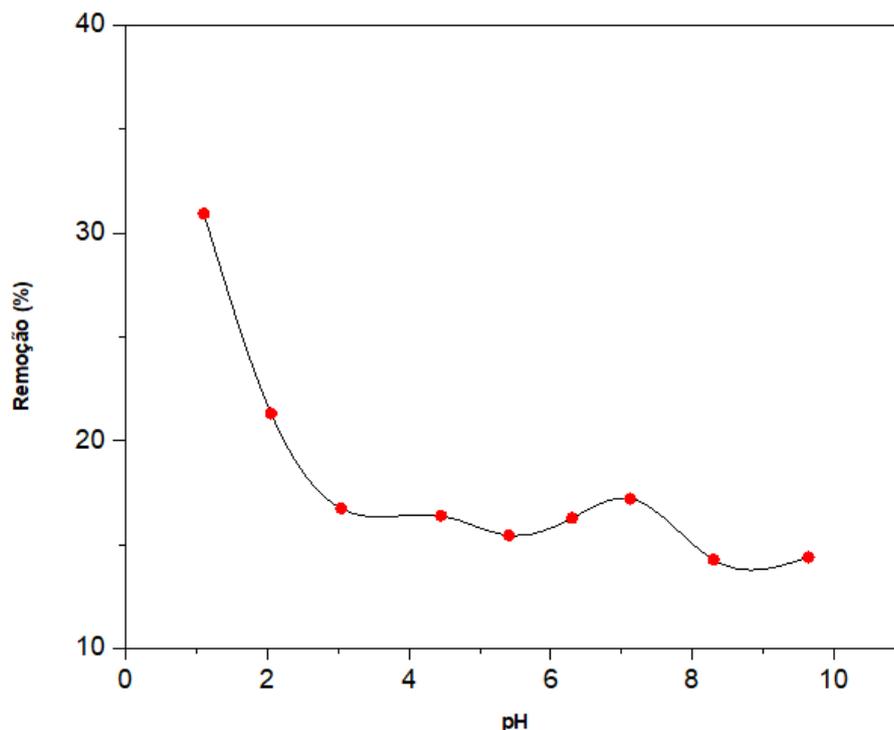
**Figura 13** – Efeito da variação de pH na faixa de 1 a 9 na remoção do corante RL-16 na concentração de 234 mg/L a 25 °C a 200 rpm/200 min



Fonte: Autor, 2022.

A Figura 14 apresenta a baixa eficiência do adsorvente na remoção desta molécula de efluentes aquosos, mostrando a porcentagem de remoção do RL-16 em função do pH. Observa-se que o percentual máximo de remoção do RL-16 é observado para o pH 1,0 cuja remoção é 35%, enquanto a variação de pH entre 2 a 9 esse valor cai para 14%. Estudos realizados por Calvete e colaboradores (2010) alcançaram índices mais altos em relação aos reportados nesse estudo, sendo superior a 80% de remoção do corante RL-16 na concentração de 200 mg/L em pH inferior a 3 utilizando outros materiais adsorvente.

**Figura 14** - Porcentagem de remoção do corante RL-16 na concentração de 234 mg/L em função da variação de pH na faixa de 1 a 9 a 25°C a 200 rpm/200 min



Fonte: Autor, 2022.

### 5.7 Ensaios de adsorção dos compósitos na remoção do corante RL-16

A Tabela 6 apresenta a porcentagem de remoção do RL-16 (234 mg/L) para o carvão comercial (CAC), CA-800325, CA/Q1g e CA/Q2.

**Tabela 6** – Comparação dos ensaios de adsorção utilizando os adsorventes CAC, CA-800325, CA/Q1g e CA/Q2g na remoção do corante RL-16 na concentração de 234 mg/L em pH 6,5 a 25 °C a 200 rpm/200 min

Adsorvente	Quant. Adsorvida (mg L <sup>-1</sup> )	Conc. Final (mg L <sup>-1</sup> )	Remoção (%)
CAC	225,45	8,55	96,35
CA-800325	38,07	195,93	15
CA/Q1	5,37	228,63	2,30
CA/Q2	11,42	222,58	4,88

Fonte: Autor, 2022.

Analisado os resultados obtidos, nota-se que a porcentagem de remoção do CAC obteve o maior índice de remoção (96,35%) na remoção do corante RL-16, o que não foi possível obter observar para CA-800325 alcançando apenas 15% de remoção. Nota-se que para os resultados obtidos por meio da modificação química (CA/Q1g e CA/Q2g) também apresentaram baixos índices de porcentagem de remoção sendo 2,30% e 4,88%, respectivamente. Como relatado em seções anteriores, a baixa remoção de corante utilizando o

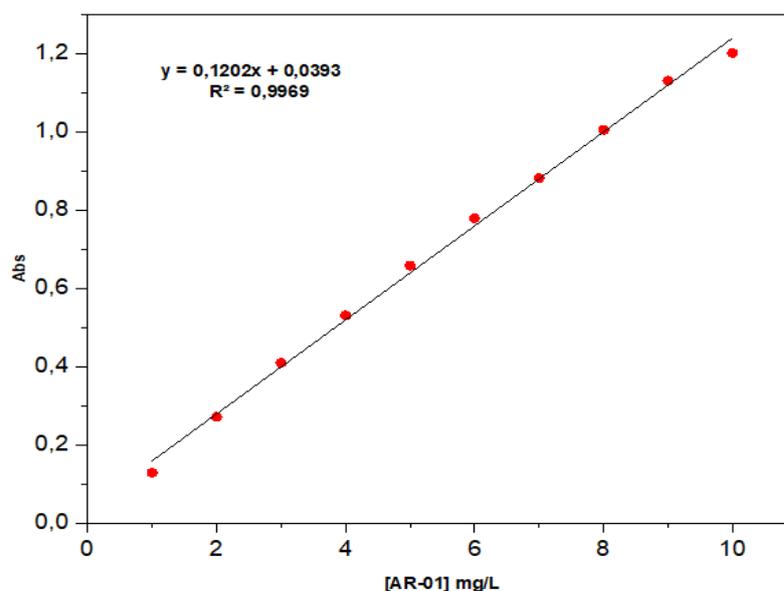
CA-800325 pode estar relacionada com a baixa interação do adsorvato com o adsorvente. Já os baixos índices de remoção do CA-800325 em relação aos compósitos, a falta de interação dos materiais adsorventes o que pode ter ocasionado a redução da área superficial do material e, conseqüentemente, provocou um aumento da densificação.

Estudos realizados por Kimura (2001) e Silva (2017) realizaram estudos combinando outros tipos de adsorvente com a quitosana, e obtiveram resultados eficientes na capacidade de adsorção do corante RL-16, sugerindo que outros fatores precisam ser investigados no processo de obtenção dos compósitos.

### 5.8 Curva de calibração do corante azul de toluidina (Tb)

A Figura 15 mostra a curva de calibração do corante azul de toluidina observada na faixa 630 nm em concentração de 1 a 10 mg/L.

**Figura 15** - Curva de calibração do corante azul de toluidina



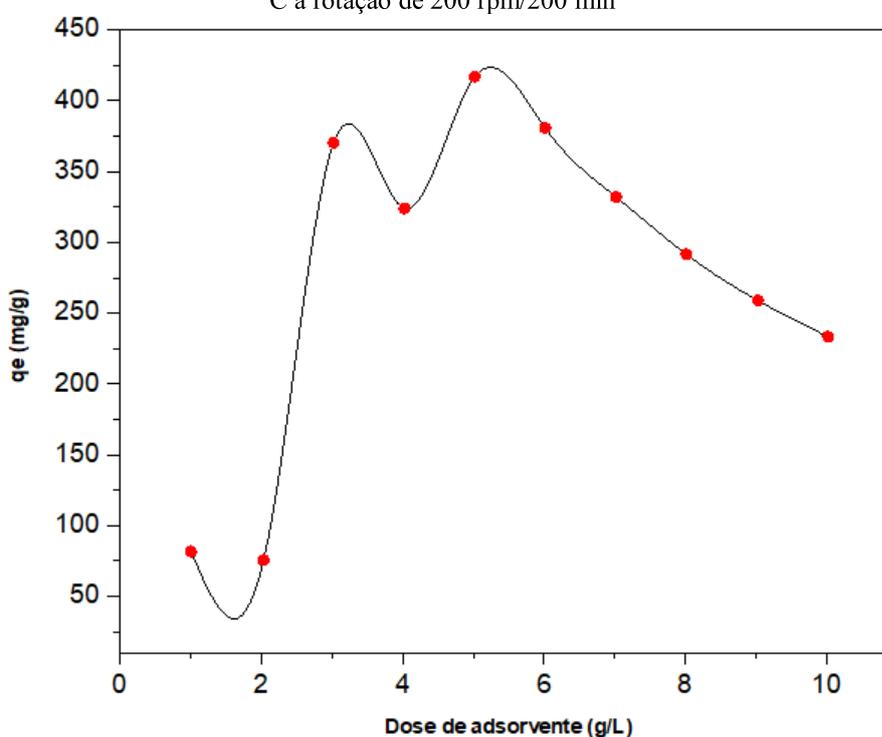
Fonte: Autor, 2022.

O resultado obtido respeita a lei de Beer, visto que, o coeficiente de correlação  $R^2 = 0,9969$  apresenta uma boa linearidade. Isso mostra que as informações obtidas por meio da equação  $Abs = 0,1202 \cdot conc + 0,0393$  podem ser utilizadas como parâmetro para os ensaios de adsorção. Ressalta-se que para concentrações superiores a 9 mg/L o gráfico apresenta um desvio de linearidade, sugerindo-se que para leituras maiores que estas sejam necessárias a realização de diluições.

### 5.9 Efeito da dosagem de massa do CA-800325 na adsorção do corante Tb

Na adsorção o custo operacional é um dos fatores deve ser considerado, e isso, está ligado diretamente com a quantidade de adsorvente que é empregado no processo. Diante disso, conhecer a quantidade ideal de adsorvente para adquirir a máxima eficiência e viabilizar menor custo possível, torna-se crucial. Dessa forma, investigou-se a eficiência do CA-800325 na remoção do corante azul de toluidina (catiônico) variando a dose de adsorvente de 1,0 a 10 g/L, mantendo constantes os parâmetros como pH, concentração e tempo de contato (Figura 16).

**Figura 16** - Efeito da dosagem de massa do CA-800325 na remoção de 234 mg/L do corante Tb em pH 4 a 25 °C a rotação de 200 rpm/200 min



Fonte: Autor, 2022.

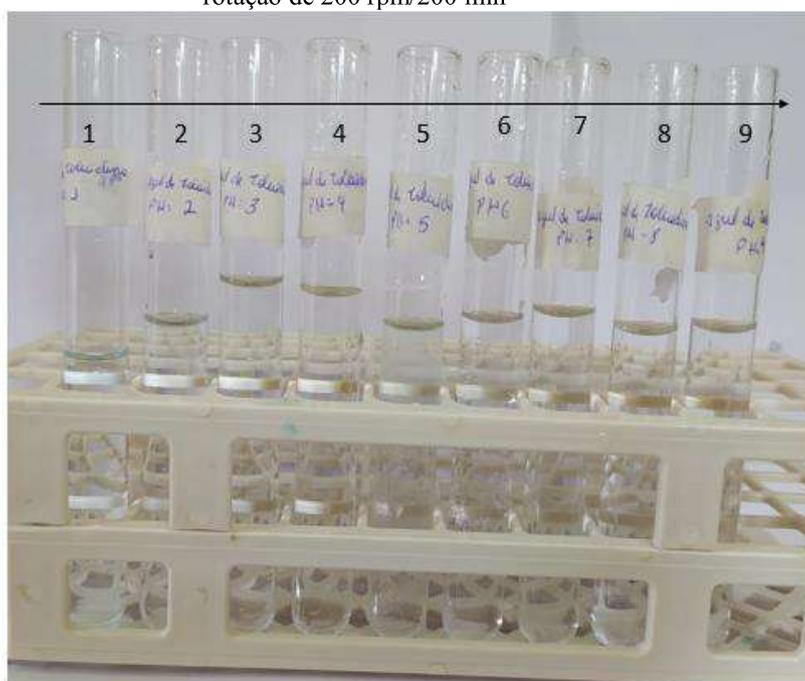
A Figura 16 apresenta quantidade removida (eixo Y) em função da dosagem de adsorvente (eixo X). Observa-se que o aumento da dosagem de adsorvente a partir de 5 g L<sup>-1</sup> ocasionou declínio de qe de 420 para 220 mg g<sup>-1</sup>. Isso acontece devido a competição de adsorção entre adsorvente e a divisão no gradiente de concentração. Nesse sentido, levando em consideração que em níveis de maior dosagem a capacidade de adsorção exibiu um decréscimo indesejado, optou-se por utilizar 4 g L<sup>-1</sup>, sendo esta concentração adotada para os experimentos posteriores. Os estudos de Bretanha a et al. (2016) também reportam uma boa remoção na adsorção do corante azul de toluidina utilizando a concentração de 4 g/500mL do adsorvente

obtido da biomassa da semente de caqui, indicando que o presente material apresenta capacidade adsortiva superior.

### 5.10 Estudo da capacidade de adsorção do CA-800325 em função do pH na solução do corante Tb

A Figura 17 mostra os resultados usando 4 g/L do adsorvente CA-800325 na remoção do corante Tb, variando pH na faixa 1 a 9, mantendo constantes os outros parâmetros temperatura, concentração e tempo de contato, e mostra alta eficiência adsortiva para o corante azul de toluidina.

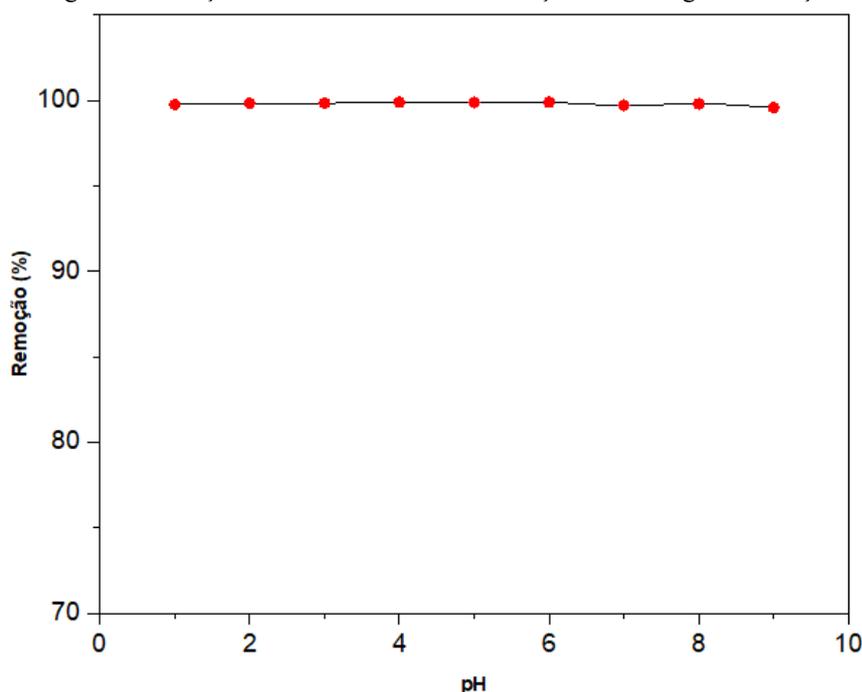
**Figura 17** - Efeito da variação do pH (1 a 9) na remoção do corante Tb na concentração de 234 mg/L a 25 °C a rotação de 200 rpm/200 min



Fonte: Autor, 2022.

Segundo Silva (2005) a adsorção de corantes é influenciada pela carga superficial do adsorvente, e a carga superficial de uma superfície sofre influência do pH em solução. No entanto, neste estudo foi possível observar que remoção ocorreu significativamente a faixa de pH, indicando que o material é apropriado para remoção deste contaminante em efluentes reais. Esse comportamento também pode ser observado por meio do gráfico apresentado na Figura 18, a qual apresenta o gráfico da porcentagem de remoção (eixo Y) em função do pH (eixo X).

**Figura 18** - Porcentagem de remoção do corante Tb na concentração de 234 mg/L em função do pH (1 a 9) a



Fonte: Autor, 2022.

Nota-se que a remoção de 99% permaneceu constante em todas as faixas analisadas. Isso mostra que a remoção do Tb utilizando o CA-800325 como adsorvente, não sofre influência do pH. Comparando com o resultados registrados por Barbosa (2015) o qual realizou um estudo com carvão ativado avaliando a porcentagem de remoção variando pH (3 a 7) em solução aquosa, observou que não houve influência desse parâmetro na adsorção do corante azul de metileno. Tal fato, pode ser comparado com efeito ocorrido nesse experimento, visto que, o corante azul de toluidina possui estruturas químicas e físicas muito semelhante ao corante azul de metileno, os quais foram mostrados (Figura 2 p. 19).

### 5.11 Ensaio de adsorção dos compósitos na remoção do corante Tb

Na adsorção corante Tb utilizando os compósitos CA/Q1g e CA/Q2g foi utilizado para efeito de comparação os testes realizados com o CAC e CA-800325. A Tabela 7 apresenta os resultados do experimento adicionando 0,4 g de cada adsorvente em contato com a solução de corante Tb (234 mg/L), otimizados em condição de 25 °C a rotação de 200rpm por 200 min.

**Tabela 7** – Comparação dos resultados obtidos nos ensaios de adsorção do corante Tb utilizando os adsorventes o CAC, CA-800325, CA/Q1g e CA/Q2g a 25 °C a rotação de 200 rpm/200 min

<b>Adsorvente</b>	<b>Quant. Adsorvida (mg L<sup>-1</sup>)</b>	<b>Conc. Final (mg L<sup>-1</sup>)</b>	<b>Remoção (%)</b>
CAC	233,66	0,34	99,85
CA-800 <sup>325</sup>	233,72	0,28	99,88
CA/Q1g	45,69	188,31	19,53
CA/Q2g	5,53	228,47	2,36

**Fonte:** Autor, 2022.

Por meio dessa análise pode-se observar que a porcentagem do CA-800325 em relação ao CAC está na faixa de 99%, que é bastante significativa quando comparado com a literatura. No entanto, em relação aos custos e disponibilidade, ambos não podem ser equiparados, visto que, o CAC na sua grande parte é proveniente de fontes não renováveis, o que não ocorre com o CA obtido de resíduos da castanheira, tornando-o mais viável.

Por outro lado, em relação aos compósitos CA/Q1g e CA/Q2g, observa-se que houve uma queda significativa na porcentagem de remoção do corante Tb, sendo 19,53% e 2,36%, respectivamente. Dessa forma, assim como RL-16, essa redução pode estar relacionada com a pouca efetividade do CA-800<sup>325</sup> com a quitosana, a qual pode ter provocado um aumento da densidade do material, e, conseqüentemente, a redução da área superficial do material.

Estudos como o de Yan et al. (2013) mostram que essa redução não significa a ausência de interação entre adsorvente-adsorvato. O autor utilizando a quitosana combinada com outros adsorventes, apresentou resultados eficientes na remoção de corantes catiônicos como o azul de metileno, o qual apresenta características bem semelhantes ao Tb (Figura 2 p. 19).

## 6 CONCLUSÃO

Com base nos resultados foi possível avaliar a viabilidade da utilização da síntese de materiais adsorventes em atmosfera aberta, no processo de remoção de corantes têxteis (reativo laranja 16 e azul de toluidina) em solução aquosa. Os experimentos foram realizados com quatro materiais adsorventes obtidos por meio do endocarpo da castanha-do-pará, sendo dois carvões não modificados (CA-500 e CA-800325) e dois compósitos de quitosana (CA/Q1g e CA/Q2g). Os estudos para os carvões não modificados, para CA-800325 apresentaram índices de rendimento e de materiais voláteis bem próximos aos resultados encontrados na literatura, sendo para RCA 23,99% e para RMV 76,01%. Já para os compósitos, as esferas apresentaram maior estabilidade com o aumento da massa de quitosana (CA/Q2g).

Os ensaios de adsorção para CA-800325 não apresentaram eficiência de remoção significativa para o corante reativo laranja 16, por outro lado, mostrou ser eficiente na remoção do corante azul de toluidina, alcançando uma capacidade máxima de remoção em torno de 420 mg/g, e com índice de remoção de 99%, valor este semelhante ao carvão comercial. Isso deve estar relacionado com a formação de microporos no processo de carbonização, visto que, a massa molecular do corante Tb é bem menor comparada ao corante RL-16. Em relação à capacidade adsortiva do CA-800325 mostrou sofrer pouca influência na variação de pH da solução do corante RL-16, apresentando um pequeno aumento de remoção para pH 1 (35%), e para corante Tb apresentando nenhuma influência, mantendo constância de 99% remoção em todas as faixas de pH estudada. Isso evidencia que o CA-800325 possui uma alta viabilidade de aplicação em amostras reais contaminadas com o corante Tb.

Os ensaios realizados com os compósitos apresentaram pouca eficiência de remoção em ambos os corantes, mostrando que a interação entre os materiais adsorventes não ocorreu de forma satisfatória. O decréscimo significativo nas remoções pode ser devido à redução área superficial do CA-800325 com a adição da quitosana. Assim, fica evidente que para os resultados reportados, o carvão ativado oriundo da castanha-do-pará é mais viável na sua forma pura, o que reduz significativamente os custos operacionais realizados para a modificação desse material, além disso, é uma excelente forma de reaproveitamento desses resíduos.

## 7 REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, E. J. R.; DILARRI, G.; CORSO, C. R. A indústria têxtil no Brasil: Uma revisão dos seus impactos ambientais e possíveis tratamentos para os seus efluentes. **Boletim das águas, Departamento de Bioquímica e Microbiologia, Universidade Estadual Paulista (UNESP)**, Rio Claro, p. 1-18, 2016.
- ALMEIDA, M. F. **Avaliação do processo de adsorção-fotodegradação com esferas de TiO<sub>2</sub>-Quitossana para o tratamento de efluentes de indústria têxtil**. 2011. Dissertação (Mestrado em ciências) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.
- ALVES, A. C. M. **Avaliação do Tratamento de Efluentes Líquidos contendo Cobre e Chumbo por Adsorção em Carvão Ativado**. 2007. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2007.
- AMARANTE, S. F.; GARCIA, C. A. B.; BARBOSA, C. D. A. S. Estudo de adsorção de poluentes orgânicos em materiais poliméricos. **Scientia plena**, v. 12, n. 5, p. 1-7, marc/abr. 2016.
- ANTUNES, M. L. P.; CAMARGO, S. R. G. D.; JESUS, C. P. de.; RUSSO, A. C. Estudo da utilização de serragem de madeira como adsorvente para tratamento de efluentes têxteis. **Estudos Ambientais**, v. 12, n. 12, p. 6-14, jul./dez. 2010.
- ARAÚJO, M. E. M. Corantes naturais para têxteis: da Antiguidade aos tempos modernos. **Conservar Patrimônio**, n. 3-4, p. 19-51, dez. 2006.
- ARAÚJO, S. S. **Produção de materiais adsorventes para remoção de nitrato em meio aquoso**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal do Goiás, Goiânia, 2019.
- ATKINS, P. W. **Físico-Química: Fundamentos**, 3ed., Editora LTC, São Paulo, 2003.
- ATKINS, P. W. **Físico-Química: Fundamentos**, 6ed., Editora: LTC, Rio de Janeiro, 2018.
- BARBOSA, T. M. **Avaliação comparativa de tratamentos térmicos e químicos na preparação de carvão ativado a partir de torta prensada de *Raphanus sativus* para remoção de azul de metileno**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.
- BELTRAME, L. T. C. **Caracterização de Efluentes Têxtil e Proposta de Tratamento**. 2000. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio grande do Norte, Rio Grande do Norte, 2000.
- BENKHAYA, S.; M'RABET, S.; EL HARFI, A. A review on classifications, recent synthesis and applications of textile dyes. **Inorganic Chemistry Communications**, v.115, p. 107891, maio. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2020.107891>
- BERRADI, M.; HSISSOU, R.; KHUDHAIR, M.; ASSOUAG, M.; CHERKAOUI, O.; EL BACHIRI, A.; EL HARFI, A. Textile finishing dyes and their impact on aquatic environs. **Heliyon**, v. 5, p. e02711, nov. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02711>

BOLIGON, J. **Produção e caracterização de carvão ativado a partir da borra de café solúvel**. 2015. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de alimentos) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2015.

BONÂNCEA, C. E. **Estudo e espectroscópico de processos de degradação fotoquímica e fotoeletroquímica de corantes**. 2010. Tese (Doutorado em Química) – Universidade de São Paulo, 2010.

BONELLI, P. R.; DELLA ROCCA, E. G.; GERELLA, A. L.; CUKIERMA, A. L. E. Effect of pyrolysis temperature on composition, surface properties and thermal degradation rates of **Brazil Nut shells**. *Bioresource Technology*, v. 76, p. 15-22, jan. 2001. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(00\)00085-7](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00085-7)

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

BRAHMI, J.; NASRI, S.; BRIKI, C.; GUERGUEB, M. NAJMUDIN, S. AOUADI, K.; SANDERSON, M. R; WINTER. M.; CRUICKSHANK, D. NASRI, H. X-ray molecular structure characterization of a hexamethylenetetramine zinc (II) porphyrin complex, catalytic degradation of toluidine blue dye, experimental and statistical studies of adsorption isotherms. *Journal of Molecular Liquids*, v. 341, p. 1-14, nov. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.117394>

BRETANHA, M. S.; DOTTO, G. L.; VAGHETTI, J. C. P; DIAS, S. LP.; LIMA, E. C.; PAVAN, F. A. Giombo persimmon seed (GPS) an alternative adsorbent for the removal Toluidine Blue dye from aqueous solutions, *Desalination and Water Treatment*, v. 57, n. 58, p. 28474-28485, maio. 2016. <https://doi.org/10.1080/19443994.2016.1179223>

BRUNO, M. **Utilização de zeólitas a partir de cinzas de carvão na remoção de corante em água**. 2008. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear – Materiais) – Universidade de São Paulo, São Pulo, 2008.

CALVETE, T.; LIMA E.C.; CARDOSO, N.F.; VAGHETTI, J.C.P.; DIAS, S.L.P.; PAVAN, F.A. Application of carbon adsorbents prepared from Brazilian-pine fruit shell for the removal of reactive orange 16 from aqueous solution: Kinetic, equilibrium, and thermodynamic studies. *Journal of Environmental Management*, v.91, n.8, p.1695-1706, ago. 2010. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.03.013>

CAMARA, Á. S. **Adsorção de cromo (VI) em leito fixo utilizando partículas de areia recobertas com quitosana**. 2014. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2014.

CARVALHO, T. E. D.; FUNGARO, D. A.; IZIDORO, J. C. Adsorção do corante reativo laranja 16 de soluções aquosas por zeólita sintética. *Química Nova*, v. 33, n. 2, p. 358-363, jul/jan. 2010.

CARVLHO, T. E. M. **Adsorção de corantes aniônicos de solução aquosa em cinza leve de carvão e zeólita de cinza leve de carvão**. 2010. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear-Materiais), Autarquia Associada a Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

CHAGAS, Morgane de Aguiar. **Tratamento de efluente têxtil por processos físico-químico e biológico**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009.

COGO, M. C. **Estudo de Caracterização e Disposição dos Resíduos de uma Indústria Têxtil do Estado do Rio Grande do Sul**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

CRUZ JR, O. F. **Produção de carvão ativado a partir de produtos residuais de espécies nativas da região amazônica**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e de Materiais) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Manaus, 2010.

CRUZ, F. S. O. **Aplicação de nanopartículas de Fe/Ni suportadas em esferas de quitosana para tratamento de efluentes têxteis em reator de leito fixo**. 2018. Dissertação (Magister Scientiae) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2018.

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

DEL PIERO, I. R. A. **Produção de Carvão a partir do ouriço e casca da Castanha do Pará**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) – Faculdade de Educação e Meio Ambiente, Ariquemes, 2018.

DUARTE, R. V. D. L.; RODRIGUES, L. A.; DE MORAES, N. P.; COUCEIRO, P. R. DA COSTA. Brasil nut mesocarp (*Bertholletia excelsa*) as a Biomass Source for Activated Carbon Production: Correlation Between Thermal Treatment and Adsorption Performance. **Biointerface Research in Applied Chemistry**, v.12, ed. 4, p. 4584-4596, set/dez. 2022. 6 <https://doi.org/10.33263/BRIAC124.45844596>

FÁVERE, V. T.; RIELLA, H. G.; ROSA, S. Cloreto de N-(2-Hidroxil) propil-3-trimetil amônio quitosana como adsorvente de corantes reativos em solução aquosa. **Química Nova**, v. 33, n. 7, p. 1476-1481, set/ago. 2010.

FENNER, E. D. **Estudo de remoção de nitrogênio amoniacal de águas residuárias, aplicando material com propriedades adsorventes sintetizado a partir de subprodutos industriais**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) - Universidade Federal da Fronteira do Sul, Carro Largo, 2022.

FERNANDES, R. **Adsorventes Alternativos para Remoção de Fenol em Solução Aquosa**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

FERREIRA, Luís Gustavo Bonora Vidrih. **Corantes Naturais e Sustentabilidade no Setor Têxtil**. *Química Nova*, v. 9, n. 1, p. 188-199, 2013.

FLECK, L. **Aplicação do controle estatístico de processos ao tratamento de um efluente têxtil por eletrofloculação**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo no Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2011.

FREITAS, F. P. **Resíduo madeireiro para síntese de carvão ativado e compósitos à base de quitosana**. 2020. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2020.

GOMES, J. N. **Estudo de adsorção de corantes por meio do carvão ativado de osso de boi**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Licenciatura em Química) – Instituto Federal Goiás, Anápolis, 2015.

GOUVEIA, L. G. T. **Avaliação de materiais adsorventes com diferentes propriedades para a captura de CO<sub>2</sub>**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020.

GUARATINI, C. I.; ZANONI, M. V. M. Corantes Têxteis, **Química Nova**, Araraquara, p. 71-78, 2000.

IBGE. - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **PEVS: Produção da Extração Silvicultura**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9105>. Acesso em: 23 jun. 2022.

IGNACHEWSKI, F.; FUJIWARA, S. T.; CÓTICA, L. F.; CARNEIRO, L. M.; TAUCHERT, E.; PERALTA-ZAMORA, P. Degradação de Corante Reativo por Processo Foto-Fenton Envolvendo o Uso de Peneira Molecular 4 A Modificada com Fe<sup>3+</sup>. **Química Nova**, v. 33, n. 8, p. 1640-1645, out/ag. 2010.

IMMICH, A. S. **Remoção de corantes de efluentes têxteis utilizando folhas de azadirachta indica como adsorvente**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

JÓZWUAK, T.; FILIPKOWSKA, U.; SZYMCZYK, P.; RODZIEWICK, J.; MIELCAREK, A. Effect of ionic and covalente crosslinking agents on properties of chitosan beads and sorption effectiveness of Reactive Black 5 dye. **Reactive and Functional Polymers**, v. 114, p. 58-74, maio. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2017.03.007>.

KILINÇ, S.; OZGE, O. S.; AKC, H.; The adsorption kinetics and removal of cationic dye, Toluidine Blue O, from aqueous solution with Turkish zeolite. **Journal of Hazardous Materials**, v. 151, p 213–220, fev. 2008. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.05.071>

KIMURA, I. Y. **Remoção de corantes reativos contendo grupos vinilsulfona e triazina por adsorção e coagulação/floculação com quitosana**. 2001. Tese (Doutorado em Química Analítica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

KUNZ, A.; PERALTA-ZAMORA, P.; MORAES, S. G.; DURÁN, N. Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. **Química Nova**, v. 25, n. 1, p. 78-82, jun. 2002.

KYZAS, G. Z.; FU, J.; LAZARIDIS, N. K.; BIKIARIS, D. N.; MATIS, K. A. New approaches on the removal of pharmaceuticals from wastewaters with adsorbent materials. **Journal of Molecular Liquids**, v. 209, p. 87–93, set. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2015.05.025>

LEAL, P. V. B.; GREGÓRIO, A. M.; OTONI, E.; SILVA, P. R. S.; KRAUSER, M. O.; HOLZBACH, J. C. **Estudo da adsorção do corante azul de metileno em resíduos de babaçu**. Journal of Biotechnology and Biodiversity, v. 3, n. 4, p. 166-171, nov. 2012.

LIU, W.; ZHANG, J.; ZHANG, C.; REN, L. Preparation and evaluation of activated carbon-based ion-containing adsorbents for enhanced Cr (VI) removal: Mechanism study, **Chemical Engineering Journal**, v. 189, n. 190, p. 295-302, dez. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2012.02.082>

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**. 2020. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Química) – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Marabá, 2020.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 4 ed. Editora Instituto Plantarum, São Paulo, 2000.

LUCENA, L. M. **Estudo do processo de adsorção com o carvão ativado proveniente do endocarpo de coco (Coccus nucifera L.) para remoção de cor, DQO e toxicidade de efluente têxtil**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2018.

MAMITT, S.; FREIBERGER, G.; STULP, S. Avaliação de degradação de corantes por processos oxidativos avançados. **Destaque Acadêmico**, ano 1, n. 4, p. 33-41, 2009.

MARTÍNEZ SUÁREZ, Jaime Fernando. **Comportamiento electroquímico de colorantes antraquinónicos, azul de metileno, y compuestos afines en solución de solventes no-acuosos**. 2017. Tese (doutorado em ciências exatas) - Faculdade de ciências exatas, Universidad Nacional de la plata, Buenos Aires, 2017.

MARTINS, A. F.; DINIZ, J.; STAHL, J. A.; CARDOSO, A. L. Caracterização dos produtos líquidos e do carvão da pirólise de serragem de eucalipto. **Química Nova**, v. 30, p. 873-878, marc. 2007.

MAURYA, N. S.; MITTAL, A. K.; PETER, C., ROTHER, E. Biosorption of dyes using dead macro fungi effect of dye structure, ionic strength and pH. **Bioresource Technology**, v. 97, p. 512-521, fev. 2006. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.02.045>

MELLO, J. R. **Síntese de compósito adsorventes a base de quitosana para a remoção de corante alimentício e surfactante em meio aquoso**. 2020. Dissertação (Mestrado em ciência e tecnologia) – Universidade Passo Fundo, Passo Fundo, 2020.

MELO, S. S.; DINIZ, J. E. M.; GUIMARÃES, J. H.; COSTA, J. S.; BRASIL, D. S. B.; MORAIS, S. S. S.; BRITO, J. C. T. C.; SANTOS, C. B. R.; SILVA, D. L. Production and characterization of adsorbent heart from the bark of residual Brazil nut bark (*Betholletia Excelsa* L.). **Chemistry Central Journal**, p. 9-36, 2015. <https://doi.org/10.1186/s13065-015-0114-3>

MILHOMEM, K. P. **Estudo do bagaço de cevada e da palha de milho como materiais adsorventes alternativos para remoção do agrotóxico carbaril de meio aquoso contaminado**. 2018. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal de Goiás, Catalão, 2018.

MONDOARDO, R. T.; SENS, L. M.; MELO FILHO, L. C. Pré-Tratamento com cloro e ozônio para remoção de cianobactérias. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 11, n 4, p. 337-342, ago. 2006.

MONTEIRO, M. S. **Mesocarpo de coco verde (cocos nucifera) e pó de serragem da Tatajuba (Bagassa Guianensis Aubi) como adsorventes em meio aquoso**. 2010. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2010.

MOREIRA, D. R. **Desenvolvimento de adsorventes naturais para tratamento de efluentes de galvanoplastia**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais) - Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

MOURA, J. M. **Avaliação da hidrólise alcalina da quitina e elaboração de filmes de quitosana para aplicação na adsorção de corante têxtil reativo preto 5**. 2014. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal de Rio Grande, Rio Grande, 2014.

NASCIMENTO, R. F.; LIMA, A. C. A.; MELO, D. Q.; RAULINO, G. S. C. **Adsorção: Aspectos teóricos e aplicações ambientais**. 1 ed. Fortaleza: Imprensa Universitária da Universidade Federal do Ceará, 2014.

NASCIMENTO, R. F.; LIMA, A. C. A.; VIDAL, C. B.; MELO, D. Q.; RAULINO, G. S. C. **Adsorção: aspectos teóricos**. 2 ed. Fortaleza: Imprensa universitária, 2020.

NEAMTU, M.; ILIE, S.; YEDILER, A.; KETTRUP, A. Kinetics of decolorization and mineralization of reactive azo dyes in aqueous solution by the UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oxidation. **Dyes and Pigments**, v. 53, p. 93-99, maio. 2002. [https://doi.org/10.1016/S0143-7208\(02\)00012-8](https://doi.org/10.1016/S0143-7208(02)00012-8)

NEGM, N. A.; HASSAN, H. H.; HEFNI, A. A. ABD-ELAAL; EMAD, A. B.; MARAM, T. H. A. K.; Advancement on modification of chitosan biopolymer and its potential applications. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 152, p. 681-702, jun. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.02.196>

NESIC, A. R.; VELICKOVIC, S. J.; ANTONOVIC, D. G. Characterization of chitosan/montmorillonite membranes as adsorbents for Bezactiv Orange V-3R dye. **Journal of Hazardous Materials**, 209-210, p. 256-263, marc. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.01.020>

OLIVEIRA, J. M.; LOBO, P. C. Avaliação do Potencial Energético de resíduos Biomassa Amazônica. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4., 2002, Campinas. **Anais**, Campinas: s.n, 2002. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/pdf/agrener/n4v1/026.pdf>. Acesso em: 18 out. 2022.

PALMA, C.; LLORET, L.; PUEN, A.; TOBAR, M.; CONTRERAS, E. Production of carbonaceous material from avocado peel for its application as alternative adsorbent for dyes removal. **Chinese Journal of Chemical Engineering**, v. 24, p. 521–528, abr. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2015.11.029>

PANDISELVI, K.; THAMBIDURAI, S. Synthesis of porous chitosan-polyaniline/zn hybrid composite and application for removal of reative orange 16 dye. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 108, p. 229-238, ago. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2013.03.015>

Pei, S.; Cheng, H. M. The reduction of graphene oxide. **Carbon**, v. 50, p. 3210-3228, ago. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2011.11.010>

PICCIN, J. S.; VIEIRA, M. L. G.; GONÇALVES, J. O.; DOTTO, G. L.; PINTO, L. A. A. Adsorção de FD & C Vermelho No. 40 por Quitosana: Análise de Isotérmicas. **Journal of Food Engineering**, v. 95, n.1, p. 16-20, nov. 2009. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.03.017>

PREMARATHANA, K. S. D.; RAJAPAKSHA, A. U.; SARKAR, B.; KNOW, E. E.; BHATNAGAR, A.; OK, Y. S.; VITHANAGE, M. Biochar-based engineered composites for sorpitve decontamination of water: A review, **Chemical Engineering Journal**, v. 372, p. 536-550, set. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.04.097>

QUESADA, H. B.; ARAÚJO, T. P. D.; VRESCHINI, D. T.; BARROS, M. A. S. D. D.; GOMES, R. G.; BERGAMASCO, R. Chitosan, alginate and other macromolecules as activated carbon immobilizing agents: A review on composite adsorbents for the removal of water contaminants. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 164, p. 2535-2549, dez. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.08.118>

RAMOS, M. A. B. **Remoção de Íon Cr (III) de Solução Aquosa por Adsorção e Biossorção em Carvão Ativado e Levedura Imobilizada**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2005.

RAMOS, P. H.; GUERREIRO, M. C.; RESENDE, E. C.; GONÇALVES, M. Produção e caracterização de carvão ativado produzido a partir do defeito preto, verde, ardido (PVA) do café. **Química Nova**, v. 32, p. 1139-1143, jun. 2009.

RAUF, M. A.; QADRI, S. M.; ASHRAF, S.; AL-MANSOORI, K. M. Adsorption studies of Toluidine Blue from aqueous solutions onto gypsum. **Chemical Engineering Journal**, v. 150, p. 90–95, jul. 2009. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2008.12.008>

RECK, I.; PAIXÃO, R. Impactos ambientais dos corantes azo e tratamentos de remoção: uma revisão. **UNINGÁ Review**, v. 28, n. 2, p. 61-66, out/dez. 2016.

RODRIGUES, C. C. **Contribuição ao estudo do tratamento do gás amoníaco por adsorção em leito fixo de carvão ativado.** 2002. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2002.

ROSA, S. **Adsorção de corantes reativos utilizando sal quaternário de quitosana como adsorvente.** 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

ROUQUEROL, J.; ROUQUEROL, Françoise.; LLEWELLYN, Philip.; MAURIN, Guillaume.; SING, Kenneth. **Adsorption by Powders and Porous Solids. Principles, Methodology and Applications** Academic Press, 2ed, 2014.

ROYER, B. **Remoção de Corantes Têxteis Utilizando Casca de Semente de Araucaria angustifolia como Biossorvente.** 2008. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

SÁ, C. P.; BAYMA, M.M.A.; WADT, L. H. O. Coeficientes técnicos, custo e rentabilidade para a coleta de castanha-do-brasil no Estado do Acre: sistema de produção melhorado. Rio Branco: Embrapa Acre; 2008. 4 p. (**Comunicado Técnico 168**)

SALEM, V. **Tingimento Têxtil:** fibras, conceitos e tecnologia. São Paulo, SP: Boucher: Golden Tecnologia, 2010.

SALIM, R. M.; ASIK, J.; SARJADI, M.S. Chemical functional groups of extractives, cellulose and lignin extracted from native *Leucaena leucocephala* bark. **Wood Science and Technology**, v.55, p.295-313, jan. 2021. <https://doi.org/10.1007/s00226-020-01258-2>

SALOMÓN, Y. L. O. **Potencial de biossorventes de baixo custo na remoção dos corantes violeta cristal e fucsina básica em sistema contínuo e descontínuo de adsorção.** 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2020.

SANTIAGO, B. H. S; SELVAM, P. V. P. Estudo de viabilidade técnico-econômica preliminar para produção de carvão ativado no Brasil a partir dos 31 resíduos do Coco: estudo comparativo dos cenários de produção. **Analítyca**, n. 17, p. 52-55, abr. 2005.

SANTOS, L. O. **Estudo de adsorção do corante reativo laranja 16 (r116) usando carvão ativado obtido do endocarpo da castanha-do-Pará.** 2021. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, 2021.

SCHIMMEL, D. **Adsorção dos Corantes Reativos Azul 5G e Azul Turquesa QG em Carvão Comercial.** 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2008.

SHARIFARD, H.; NABAVINIA, M.; SOLEIMANI, M. Evaluation of adsorption efficiency of activated carbon/chitosan composite for removal of Cr (VI) and Cd (II) from single and bi-solute dilute solution, **Advances in Environmental Technology**, v. 4, p. 215-227, abr. 2016. <https://doi.org/10.22104/AET.2017.484>

SILVA, A. A.; SANTOS, M. K. V.; GAMA, J. R. V.; NOCE, R.; LEÃO, S. Potencial do Extrativismo da Castanha-do-Pará na Geração de Renda em Comunidades da Mesorregião Baixo Amazonas, Pará. **Floresta e Ambiente**, v. 4, p. 500-509, out/dez. 2013. <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2013.046>

SILVA, A. C. O. **Estudo de Adsorção do Corante Reativo Laranja 16 com Quitosana e seus derivados**. 2017. Dissertação (Mestrado em Química e Biotecnologia) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2017.

SILVA, A. T. **Influência da temperatura na adsorção do corante azul de metileno utilizando serragem de *Pinus elliottii* como adsorvente alternativo: um modelo para tratamento de efluentes têxteis**. 2005. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

SILVA, C. P.; HAETINGER, C.; MARMITT, S.; STULP, S. Avaliação da Degradação do Corante Vermelho Bordeaux através de Processo Fotoquímico. **Engenharia e Ambiental**, v.13, p. 73-77, fev. 2008.

SILVA, M. B. S. **Aplicação de biomassa vegetal como material adsorvente em corantes sintéticos de meio aquoso**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do PAMP, Bagé, 2013.

SILVA, N. P. **Estudo de remoção de nitrogênio amoniacal de águas residuárias, aplicando material com propriedades adsorventes sintetizado a partir de subprodutos industriais**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

SILVEIRA, M. B. **Aplicação de biomassa vegetal como material adsorvente de corantes sintéticos em meio aquoso**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal Pampa, Bagé, 2013.

SINGH, T.; VERSENTINI, D.; SINGH, A. P.; DANIEL, G. Effect of chitosan on physiological, morphological, and ultrastructural characteristic of wood-degrading fungi. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 62, p. 116-124, set. 2008. <http://doi.org/10.1016/j.ibiod.2007.09.006>

SOARES, V. C. **Avaliação das propriedades adsorptivas de carvões ativadas produzidos via tratamento termoquímico convencional e não convencional com vistas à remoção de cádmio em meio aquoso**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.

SOBREIRA, T. G. P.; SILVA, L. A.; MENEZES, F. D.; FRANÇA, E. L.; AQUINO, K. A. S. Aspectos estruturais de esferas de quitosana/pva reticuladas com glutaraldeído submetidas a diferentes tratamentos térmicos. **Química Nova**, v. 43, n. 9, p. 1251-1253, ago. 2020.

TEIXEIRA, V. G.; COUTINHO, F. M. B.; GOMES, A. S. Principais Métodos de Caracterização da Porosidade de Resinas à Base de Divinilbenzeno. **Química Nova**, v. 24, n. 6, p. 808-818, abr. 2001.

THEO, G. M.; SAINT-CYR, K.; ALIX, M. Adsorption of toluidine blue on pulp fibers. **Colloids and Surfaces A: Physicochem**, v. 294, p. 1-7, fev. 2007. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2006.07.040>

TIZAQUI, C.; GRIMA, N. Kinetics of the ozone oxidation of Reactive Orange 16 azo-dye in aqueous solution. **Chemical Engineering Journal**, v.173, n.2, p.463-473, set. 2011. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.08.014>

TRAN, C. D.; DURİ, S.; DELNERI, A.; FRANKO, M. Chitosan-Cellulose Composite Materials: Preparation, Characterization and Application for Removal of Microcystin. **Journal of Hazardous Materials**, v. 12, p. 252-253, maio. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.02.046>

USACHEVA, M. C.; TEICHERT, M. C.; BIEL, M. A. Comparison of the Methylene Blue and Toluidine Blue Photobactericidal Efficacy Against Gram-Positive and Gram-Negative Microorganisms. **Lasers in Surgery and medicine**, v. 29, p. 165-173, ago. 2001. <https://doi.org/10.1002/lsm.1105>

VAKILI, M. et al. Elimination of reactive blue 4 from aqueous solutions using 3- aminopropyl triethoxysilane modified chitosan beads. **Carbohydrate Polymers**, v. 132, p. 89–96, nov. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.05.080>

YAGUB, M. T.; SEN, T. K.; AFROZE, S.; ANG, H. M. Dye and its removal from aqueous solution by adsorption: A review. **Advances in Colloid and Interface Sciences**, v. 209, p. 172-184, jul. 2014. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2014.04.002>

YAN, H. LI, H.; YANG, H.; CHENG, A. L. R. Removal of various cationic dyes from aqueous solutions using a kind of fully biodegradable magnetic composite microsphere. **Chemical Engineering Journal**, v. 223, p. 402-411, maio. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.02.113>