

**INSTITUTO FEDERAL CATARINENSE – CAMPUS ARAQUARI  
GABRIELE PURNHAGEN, JEAN VENERA, JULIANA PATRÍCIO, LARA  
NASCIMENTO, MILENA MELO**

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE ADSORÇÃO DE CORANTES TÊXTEIS POR CARVÃO  
ATIVADO OBTIDO DO MESOCARPO DA FLOR DE ABRIL (*Dillenia Indica* L.)**

**ARAQUARI/SC  
2016**

**GABRIELE PURNHAGEN, JEAN VENERA, JULIANA PATRÍCIO, LARA  
NASCIMENTO, MILENA MELO**

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE ADSORÇÃO DE CORANTES TÊXTEIS POR CARVÃO  
ATIVADO OBTIDO DO MESOCARPO DA FLOR DE ABRIL (*Dillenia Indica* L.)**

**Trabalho Final do Projeto de Iniciação Científica  
Integrada (PIC-QUIMI) apresentado ao Instituto  
Federal Catarinense – *Campus* Araquari – como parte  
complementar à matriz curricular do Curso Técnico em  
Química Integrado ao Ensino Médio.**

**ARAQUARI/SC  
2016**

## RESUMO

Os efluentes das indústrias têxteis constituem um problema ambiental, uma vez que apresentam elevada quantidade de carga orgânica e de cor, causando poluição visual e prejuízos à biota aquática. No presente trabalho será avaliada a remoção de corantes utilizando carvão ativado (CA) produzido a partir do mesocarpo da Flor de Abril (*Dillenia Indica L.*). Este trabalho foi proposto com a intenção de utilizar um material economicamente viável, de fácil produção e, principalmente, sustentável, sendo a Flor de Abril uma espécie presente na flora brasileira e que não possui utilização comercial considerável. A utilização da mesma também soluciona um problema urbano, já que ela está presente em grande escala em parques e seus frutos são volumosos e pesados, o que os torna uma ameaça para pedestres e ciclistas. O CA será produzido em laboratório a partir do mesocarpo da Flor de Abril que será previamente cortado. Posteriormente, ocorrerá a ativação com ácido fosfórico, devido a sua eficiência na produção de poros em temperatura de 380°C. As variáveis que serão utilizadas para promover o aumento na adsorção incluem tempo para a remoção dos corantes (5-95 min), pH (2-10), temperatura (15°C-40°C) e quantidade do material adsorvente. Espera-se com este estudo que os resultados acenem para a utilização desse material como substituto ao carvão comercial no tratamento de efluentes têxteis, o que daria destinação nobre para este resíduo.

Palavras-chave: Carvão-ativado, Corantes têxteis, *Dillenia Indica L.*

## **ABSTRACT**

The effluents from textile industry are an environmental issue, presenting high quantities of organic materials and coloration, leading to visual pollution and damage to aquatic ecosystem. This work is intended to evaluate the dye removal using activated charcoal produced from Elephant Apple (*Dillenia Indica* L.) pith. This work was proposed with the intent of utilizing a viable and economic material, easily produced and mostly, sustainable once that the Elephant Apple is a species present in Brazilian flora and it doesn't have a substantial commercial applicability. Finding an utility from this plant could solve some urban problems, since there is a considerable amount of Elephant Apple in parks that have large and heavy fruits, being a threat to pedestrians and cyclists. Activated charcoal will be prepared in lab from Elephant Apple pith previously grinded. Further, the charcoal will be activated using phosphoric acid due its efficiency producing pores at 600 °C. Variables like optimum time to dye removal (5-180 min), pH (2-10), temperature (10-50 °C) and adsorbent amount, will be studied to promote the adsorption increase. It's expected that this material may be used as alternative to commercial charcoal on the treatment of textile effluents giving it a noble destination to this residues.

**Keywords:** Activated charcoal, Textiles Colours , *Dillenia Indica* L.

## Sumário

<b>1. TEMA E DELIMITAÇÃO DO TEMA .....</b>	<b>5</b>
1.1 TEMA .....	5
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA .....	5
1.3 PROBLEMA .....	5
<b>2. OBJETIVO GERAL .....</b>	<b>6</b>
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	6
<b>3. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>6</b>
<b>4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>7</b>
<b>5. METODOLOGIA DA PESQUISA.....</b>	<b>11</b>
5.1 OBTENÇÃO DO MATERIAL BIOSORVENTE .....	11
5.2 CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL ADSORVENTE.....	12
5.2.2 <i>Análise do pH</i> .....	12
5.2.3 <i>Espectroscopia de Absorção na Região do Infravermelho</i> .....	13
5.2.4 <i>Índice de Iodo do Carvão Ativado</i> .....	13
5.2.5 <i>Ensaio de Toxicidade</i> .....	13
5.3 EXPERIMENTOS DE ADSORÇÃO DS CORANTES .....	14
5.3.1 <i>Adsorção em Função do Tempo</i> .....	14
5.3.2 <i>Adsorção em Função do pH</i> .....	14
5.3.3 <i>Adsorção em Função da Temperatura</i> .....	15
5.3.4 <i>Adsorção em Função da Massa de Adsorvente</i> .....	15
<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>15</b>
6.1 PH E PONTO DE CARGA ZERO .....	15
6.2 ESPECTROSCOPIAS DE ABSORÇÃO NA REGIÃO DO INFRAVERMELHO .....	<b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>
6.3 ÍNDICES DE IODO DO CARVÃO ATIVADO .....	16
6.4 ADSORÇÃO EM FUNÇÃO DO TEMPO .....	18
6.5 ADSORÇÃO EM FUNÇÃO DO PH.....	19
6.6 ADSORÇÃO EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA.....	<b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>
6.7 ADSORÇÃO EM FUNÇÃO DA MASSA DE ADSORVENTE .....	20
<b>7. CONCLUSÃO.....</b>	<b>24</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>25</b>

## 1. TEMA E DELIMITAÇÃO DO TEMA

### 1.1 TEMA

Análise da eficiência de adsorção de corantes por carvão ativado obtido do mesocarpo da Flor de Abril (*Dillenia Indica L.*).

### 1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Este trabalho apresenta um estudo a respeito da importância de se utilizar um material economicamente viável, de fácil produção e, principalmente, sustentável para remoção de corantes têxteis. A análise foi feita nesse setor, pois acredita-se que os problemas causados por esse tipo de produtos são, além de frequentes, de grande impacto ambiental. Pode-se citar, como exemplo de dano ambiental, o fato de que os compostos químicos existentes na composição desses produtos, no momento do seu descarte, transformam-se em resíduos nocivos ao meio ambiente que contaminam o sistema hídrico .

As indústrias têxteis têm procurado novos métodos para remoção de corantes, buscando maior viabilidade, fácil execução e lucratividade com o produto. Este trabalho teve o intuito de produzir CA, obtido a partir do mesocarpo da Flor de Abril (*Dillenia Indica L.*), medindo sua eficiência de adsorção em corantes têxteis de efluentes industriais.

### 1.3 PROBLEMA

Grande parte dos efluentes têxteis é composta por corantes, os quais, atualmente, são um dos principais problemas ambientais. Estes podem trazer malefícios tanto para o meio ambiente, quanto à saúde humana e animal. Por essa razão, o projeto tem como objetivo produzir CA através da Flor de Abril (*Dillenia Indica L.*) visando à remoção de corantes de efluentes têxteis. A Flor de Abril foi escolhida em razão da pouca comercialização, utilização e popularidade de suas propriedades físico-químicas, as quais podem resultar em uma grande área de contato, proporcionando uma alta adsorção do corante.

## 2. OBJETIVO GERAL

Produzir CA a partir do mesocarpo da Flor de Abril (*Dillena Indica L.*) para a remoção de corantes sintéticos de efluentes têxteis.

### 2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Produzir o carvão a partir da Flor de Abril (*Dillena Indica L.*);
- Ativar o carvão com ácido fosfórico;
- Caracterizar os carvões ativados quanto as suas propriedades físico-químicas;
- Avaliar a influência da temperatura, do pH tempo e material adsorvente na capacidade de remoção de corantes têxteis de efluentes industriais presentes em solução aquosa.

## 3. INTRODUÇÃO

Muitas indústrias, especialmente as têxteis, de alimentos, gráfica, fotográfica e de aditivos em derivados de petróleo utilizam corantes para colorir seus produtos (PICCIN et al., 2013). Estima-se que são produzidas por ano no mundo, entre  $7 \times 10^5$  e  $1 \times 10^6$  toneladas desses materiais artificiais (DOTTO et al., 2011) e devido às baixas taxas de fixação ao longo do processamento, uma grande parcela destes é descartada nos efluentes industriais (DOTTO et al., 2011).

Sua presença nos efluentes é facilmente visualizada, pois afeta a transparência da água e reduz a capacidade de reaeração dos corpos hídricos em função da redução da penetração de luz solar e consequente alteração dos processos de fotossíntese (GUARATINI; ZANONI, 2000).

A molécula do corante utilizada para tingir a fibra têxtil pode ser dividida em duas partes principais: uma estrutura responsável pela fixação à fibra e outra estrutura, denominada grupo cromóforo, responsável pela coloração. Existem vários grupos cromóforos utilizados atualmente na síntese desses compostos. No entanto, o grupo comumente empregado pertence à família dos azocorantes. Estes representam cerca de 60% dos corantes utilizados no mundo (HASSEMER, 2006).

A importância desses materiais para a civilização humana é evidente porém trazem sérios malefícios ao ecossistema (PEIXOTO; MARINHO; RODRIGUES, 2013); levando à busca de métodos eficazes e de baixo custo para eliminá-los dos efluentes. Dentre os materiais mais empregados na remoção de poluentes do meio aquoso, destaca-se o CA que apresenta excelentes características adsorventes (CASTRO et al., 2009).

O CA é produzido a partir da desidratação de matérias-primas e carbonização seguida de ativação. O produto obtido geralmente tem uma estrutura muito porosa com grande área superficial e seus usos mais comuns são a elaboração de filtros para adsorção de gases e no tratamento de água, em que o carvão se destaca por reter nos seus poros impurezas e elementos poluentes. Ele é utilizado em diversos ramos das indústrias como: química, alimentícia, farmacêutica, medicinal, em sistemas de filtração e no tratamento de efluentes e gases tóxicos resultantes de processos industriais (FREITAS; BUENO, 2014).

Tendo em vista a necessidade de novos métodos para remoção de resíduos originários dos processos industriais, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a produção de CA obtido do mesocarpo da Flor de Abril (*Dillenia Indica* L.). Para isso, serão investigadas as características do CA e suas melhores condições de processamento e operação.

#### **4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Os corantes têxteis são compostos orgânicos com estruturas moleculares complexas, formadas por um ou mais grupos cromóforos (responsáveis pela cor do composto através da absorção de uma parte da energia radiante) e grupos auxiliares que propiciam sua afinidade pela fibra têxtil (DURAN; MORAIS; FREIRE, 2000). Os corantes podem ser classificados quanto à estrutura química ou quanto ao método de aplicação. No sistema de classificação química, os corantes são agrupados pelas similaridades em suas características estruturais. De acordo com esta classificação, os principais grupos de corantes são os azo, nitrofenol, nitrosfenol, trifenilmetano, antraquinona, ftalocianina, vinil sulfônico, pirimidina e triazina. No sistema de classificação pelo método de aplicação, os corantes são agrupados como corantes reativos, ácidos, básicos, mordentes, pré-metalizados, diretos, dispersos e corantes de cuba (GUARATINI; ZANONI, 2000).

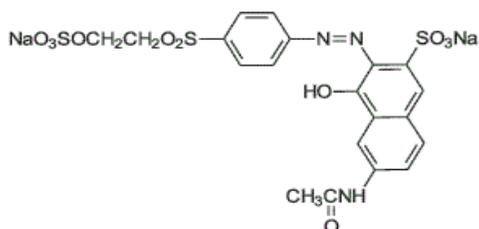
Os corantes reativos são corantes contendo um grupo eletrofílico (reativo) capaz de formar ligação covalente com grupos hidroxila das fibras celulósicas, com grupos amino, hidroxila e tióis das

fibras proteicas e também com grupos amino das poliamidas. Existem numerosos tipos de corantes reativos, porém os principais contêm a função azo (-N=N-) e antraquinona (C=O) como grupos cromóforos e os grupos clorotriazinila e sulfatoetilsulfonila como grupos reativos (GUARATINI; ZANONI, 2000). Este grupo de corantes apresenta como característica uma alta solubilidade em água e o estabelecimento de uma ligação covalente entre o corante e a fibra, cuja ligação confere maior estabilidade na cor do tecido tingido quando comparado a outros tipos de corante (BANAT et al., 1996 e GUARATINI; ZANONI, 2000).

Os corantes do tipo azo, em geral, são confeccionados para resistir ao ataque aeróbio, à degradação por luz solar, à água e ao sabão; o que significa dizer que são resistentes à completa degradação no meio ambiente (GUARATINI; ZANONI, 2000). Estes ainda podem sofrer transformações, levando a formação de aminas e outros compostos intermediários com potencialidade carcinogênica, como benzidinas, *o*-dianisidina, *o*-toluidine, entre outros (GUARATINI; ZANONI, 2000). Estima-se que até 75% dos corantes tipo azo utilizados na indústria têxtil não são fixados na peça e, portanto, são descartados em efluentes (PANDEY; SINGH; IYENGAR, 2007).

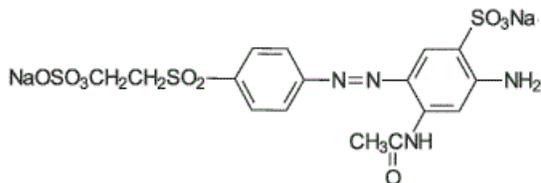
Os corantes Alaranjado Remazol ( $C_{20}H_{17}N_3Na_2O_{11}S_3$ ;  $617,54 \text{ g.mol}^{-1}$ ) e Amarelo Remazol ( $C_{16}H_{13}O_{10}S_3N_4Na_2$ ;  $563 \text{ g.mol}^{-1}$ ) pertencem à classe dos corantes reativos que contêm a função azo, apresentando boas propriedades para tingir os tecidos, especialmente seda e algodão. A alta solubilidade em água e o estabelecimento de ligações entre a fibra e o corante conferem uma boa fixação e uma maior estabilidade se comparado a outros tipos de corantes. Entretanto, são altamente resistentes à degradação microbiana e aos sistemas convencionais como, por exemplo, a degradação do ozônio de forma direta ou indireta: a forma direta consiste no contato direto da molécula de ozônio com outras moléculas orgânicas ou inorgânicas via adição eletrofílica. Já na forma indireta, o ozônio pode reagir através de reação radicalar. O uso de tecnologias de membranas (osmose reversa, microfiltração, nanofiltração e ultrafiltração) também vem sendo visto como uma boa opção, já que possibilita a reutilização da água no processo industrial (KUNZ, et al., 2002). A Figura 1 apresenta a estrutura química para o Alaranjado Remazol e a Figura 2 mostra a estrutura química para o Amarelo Remazol.

Figura 1 - Estrutura molecular do corante Alaranjado Remazol



Fonte: Adaptado de CATANHO et al., (2006).

Figura 2 - Estrutura molecular do corante Amarelo Remazol



Fonte: Adaptado de CATANHO et al., (2006).

Devido às implicações ambientais citadas, novas tecnologias têm sido estudadas para a degradação ou imobilização desses compostos em efluentes têxteis. Existe um crescente interesse no uso de materiais adsorventes sólidos de baixo custo, os quais oferecem uma série de vantagens dentro da sua simplicidade, rapidez e eficiência (RUTZ et al., 2008)

A adsorção é o processo que encontra maior aplicação industrial, oferecendo um método lento, porém efetivo principalmente para volumes de pequena escala. A metodologia consiste na separação efetiva de moléculas de corantes com dimensão suficientemente grande para serem separadas do efluente (HITZ; HUBE; REED, 1978). Em alguns casos, por não se tratar de um método destrutivo, possibilita a recuperação do corante sem perda de sua identidade química (SMITH; KOONCE; HUDSON, 1993).

O CA é produzido através da queima controlada de vários tipos de materiais. Dentre eles encontra-se a madeira, hulha, lignina, casca de coco, bambu, grão de café, etc., mas com maior frequência está o eucalipto devido as suas características físico-químicas e o rápido crescimento. A queima é feita usualmente na ausência de ar entre 500°C a 800°C e nesta etapa ocorre à remoção de componentes voláteis e gases leves como, por exemplo, CO, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>. Ocorre também à

formação de uma massa primária de carbono com alta porosidade e em seguida é feita a ativação do carvão. Este pode ser ativado de forma física, em que moléculas de H<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub> se ligam fracamente ao adsorvente, não alterando suas características físicas e químicas. A ativação química consiste na impregnação do material ainda não pirolisado com agentes desidratantes, como cloreto de zinco, ácido fosfórico, ácido sulfúrico, hidróxido de sódio e metais alcalinos (RODRIGUEZ; SABIO; GONZALEZ, 1995) que por sua vez geram uma maior área de contato, aumentando o poder de adsorção. Posteriormente, ocorre a carbonização usualmente em atmosfera inerte, com temperaturas entre 400°C a 900°C (RAMOS et al., 2009 e OLIVEIRA et al., 2002).

As principais características do CA dependem da origem do precursor (vegetal, animal ou mineral) e do tipo de ativação (física, química ou plasma). A eficiência da adsorção é atribuída a diversos fatores, tais como: superfície específica, tamanho e estrutura dos poros, reatividade dos diferentes componentes do material, características do adsorvato (tamanho, massa molar e grupos funcionais das moléculas) dentre outros (MOLLETA, 2011).

O CA tem como principal característica o alto poder de adsorção de diversos contaminantes, como corantes em geral, benzeno, tolueno e xilenos, chamados de BTX (presente em vazamentos de petróleo) (TIBURTIUS, PERALTA, GUILARDUCI, et al., 2006) e muitos outros, pois a utilização do CA varia conforme a sua ativação. Isso acaba tornando esse material adequado para alguns tratamentos, dentre os quais estão: efluentes líquidos industriais, água, purificação de óleos, clarificação de glicose, remoção de cobre em cachaça, entre outros (LIMA et. al, 2006). O CA também é fortemente empregado na indústria farmacêutica e também está presente em diversos processos tais como: aparelhos de diálise, filtros de água, galvanoplastia, suporte catalítico, etc.

Os resíduos vegetais, como o caule, as folhas e a biomassa de resíduos orgânicos para a produção de energia, são produzidos largamente na agricultura brasileira. Tendo em vista a possibilidade de aplicação de resíduos vegetais até então não utilizáveis, a produção de carvão ativado oriundo desses materiais pode ser aproveitada dando-lhes valor comercial.

Originária da Índia, Sri-Lanka, Java e Filipinas e cultivada em todo território brasileiro, a árvore Flor de Abril (*Dillenia Indica* L.) é também conhecida pelos nomes de Dilênia, Bolsa de Pastor, Árvore do Dinheiro, Maçã de Elefante, entre outros. Trata-se de uma árvore de porte mediano, formando uma copa muito abundante de forma piramidal. As abelhas (*Apis melífera*), que utilizam plantas que oferecem pólen e/ou néctar, são responsáveis pela polinização da Flor de Abril. Após a floração, as pétalas caem e o cálice persistente se fecha e cresce para se formar uma capa carnuda que envolve por completo o fruto e este, junto com sua capa protetora, mede 12-15 cm de diâmetro. (PEIXOTO;

TOLEDO; SOUZA, 1998.) Para melhor exemplificar, tem-se a Flor de Abril e seu fruto na Figura 3 a seguir:

Figura 3 - Flor e fruto da árvore Flor de Abril.



Fonte: <<http://pathellpassaros.blogspot.com.br/2013/02/flor-de-abril.html>>

Muito conhecida pela sua capacidade antioxidante, a Flor de Abril é muito utilizada na medicina popular, pois são feitos extratos hidroetanoicos para tratar algumas inflamações ou ser misturados a uma calda de açúcar para o combate da tosse (SOUZA; PEIXOTO; TOLEDO, 1998). Em algumas culturas o fruto é empregado também na culinária. Desta forma, visando ao pouco uso da fruta e à sua condição de resíduo agroindustrial, buscou-se uma destinação adequada e consciente para o meio ambiente.

## **5. METODOLOGIA DA PESQUISA**

### **5.1 OBTENÇÃO DO MATERIAL BIOSORVENTE**

Os frutos da Flor de Abril foram obtidos no município de Joinville, no período de Março a Abril de 2016. Para a obtenção do carvão, foi utilizada apenas a parte que contém as fibras do material vegetal e, por isto, há a necessidade da retirada da parte interna do fruto. Desta forma, com auxílio de uma faca, foi realizado um corte transversal no fruto para obtenção do mesocarpo, seguido de cortes menores para que seja possível se obter partículas menores de material para serem levadas à carbonização.

Uma massa de 60g de amostra foi adicionada em uma solução (1:1) de ácido fosfórico 85% e água destilada, contemplando um volume total de 150 mL. Este material foi deixado a 80°C por duas horas, sob agitação magnética. Em seguida, o material foi lavado com água destilada e filtrado com o auxílio de um funil de Buchner e bomba a vácuo. Nesta etapa, o pH foi estabilizado fazendo-se o uso de bicarbonato de sódio para que ele fique mais próximo da neutralidade. Em seguida, os sólidos foram deixados em uma estufa a 100°C por 1 hora e, posteriormente submetidos à etapa de pirólise, em 380°C e tempo de permanência na mufla de 30 min, com taxa de aquecimento de 5°C min<sup>-1</sup>, e a seguir armazenados em dessecador. Esta etapa foi realizada em triplicata e as amostras foram encaminhadas à estufa a 105°C por 1 horas para a remoção de traços de umidade. O carvão seco foi macerado até apresentar-se como um pó.

## 5.2 CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL ADSORVENTE

A caracterização do CA será realizada com base no pH, na análise química de superfície e nos indicadores de porosidade.

### 5.2.2 Análise do pH

A metodologia empregada para a determinação do ponto de carga zero (pHPCZ) para o foi denominada “experimento dos 11 pontos”, descrita em literatura. Misturas preparadas a partir de 1,0 g de CA e 50 mL de água tiveram seu pH inicial ajustado para 11 valores diferentes (2-12), com auxílio de soluções de HCl 20% ou NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup>. As misturas foram então mantidas sob agitação contínua em mesa, à temperatura ambiente por 24 h. Após esse período o pH final das soluções foi medido, com auxílio de um pHmetro. Alíquotas de água deionizada (sem a presença do CA) tiveram seus valores de pH ajustados para os mesmos valores de pH das soluções em estudo e foram submetidas ao mesmo procedimento e utilizadas como referência (Moruzzi et al., 2014).

### 5.2.3 Espectroscopia de Absorção na Região do Infravermelho

#### 5.2.4 Índice de Iodo do Carvão Ativado

Primeiramente as amostras de CA foram secas em estufa a  $130\pm 5^{\circ}\text{C}$  por 3h. Após este tempo pesou-se 1,0 g do material, que posteriormente foi transferido para erlenmeyers aos quais se adicionou 10 mL de solução de ácido clorídrico 1:5 e agitou-se até que a amostra se tornasse úmida. O erlenmeyer foi levado a uma manta aquecedora e deixou-se a solução de carvão e ácido em ebulição por aproximadamente 30 s, retirou-se então, o frasco da manta, esperou-se o mesmo resfriar até temperatura ambiente e adicionou-se 50 mL da solução inicial de iodo. Em seguida agitou-se os erlenmeyers vigorosamente com movimento circulares por 30s e então, filtrou-se a solução, desprezando-se os primeiros mLs e coletando-se o restante. A concentração do filtrado foi analisada por método titulométrico, no qual pipetaram-se 25 mL do filtrado em erlenmeyers de 250 mL e titulou-se com solução de tiosulfato de sódio até coloração amarelada. Adicionou-se então, aproximadamente 2 mL de solução indicadora de amido e titulou-se até desaparecimento da coloração azul. Anotou-se o volume total da solução de tiosulfato de sódio utilizado e procederam-se os cálculos necessários (Molleta, 2011). O número de iodo, em mg/g, foi calculado seguindo-se a equação abaixo:

$$\frac{X}{M} = \frac{A - (2,2 \times B \times V_a)}{p}$$

Em que:

X/M = número de iodo;

A = normalidade da solução de iodo 0,1M (0,05mol/L) multiplicada pelo fator de correção da solução e por 12693;

B = normalidade da solução de tiosulfato de sódio 0,1M (0,05mol/L) multiplicada pelo fator de correção da solução e por 126,93;

V<sub>a</sub> = volume total de tiosulfato de sódio 0,1N gasto na titulação (mL);

p = massa da amostra de carvão ativado pulverizado (g).

#### 5.2.5 Ensaio de Toxicidade

Foram preparadas soluções de corante com concentração de  $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ . Através da definição de massa e tempo ideais para a remoção dos corantes, foi fixada a massa de 1 g de CA e o tempo de 45 min de contato com a amostra. Após os 45 min, foi feita a filtração do precipitado solução+CA. Foi utilizado o método *Microtox*, que utiliza a bactéria marinha bioluminescente *Vibrio fischeri*. Foi necessária a reativação da bactéria, pois são liofilizadas para o armazenamento. As amostras foram salinizadas e houve um reajuste do pH para manter o processo osmótico da bactéria estável e assim garantir a veracidade dos resultados da análise. As soluções e a bactéria foram expostas a uma temperatura de  $15 \text{ }^\circ\text{C}$  no termobloco Easy Cool Umwelt. Foi adicionado 0,1 ml de bactéria nas duplicatas e medido a luminescência emitida por elas antes de ser misturada às soluções, utilizando o sistema BioFix Lumi-10. Logo após, as soluções foram adicionadas e foi necessário um tempo de 15 min de reação para serem medidas novamente. Nesse teste medimos a redução da luminescência emitida naturalmente pela bactéria quando ela é colocada em contato com um agente tóxico.

### 5.3 EXPERIMENTOS DE ADSORÇÃO DOS CORANTES

#### 5.3.1 Adsorção em Função do Tempo

Foram realizados testes para medir a eficiência do CA produzido do mesocarpo da Flor de Abril e para adsorver os corantes amarelo remazol e alaranjado remazol. Para isso, foram utilizados 50 mL da solução dos corantes em concentração inicial de  $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , a qual foram mantida sob agitação constante em temperatura ambiente, com pH neutro. Foram retiradas alíquotas em um intervalo de tempo entre 5 e 95 min, que foram previamente centrifugadas e analisadas em relação à concentração do corante na solução. Foi utilizada a espectrofotometria UV/VIS no respectivo comprimento de onda de cada corante.

#### 5.3.2 Adsorção em Função do pH

Para determinar o pH ideal para a adsorção máxima dos corantes foi feito um experimento contendo separadamente, 50 mL de solução dos corantes, com uma concentração inicial de  $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ , e pH variando entre 2 a 10. Para isso, foram utilizadas soluções de NaOH  $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  e HCl 20%. Posteriormente, foi adicionado 1,0 g de adsorvente em cada erlenmeyer, deixando-os em agitação e

temperatura constantes, por um período suficiente até que o equilíbrio seja atingido. Com os dados obtidos foi calculada a quantidade de corante adsorvido por grama de adsorvente.

### 5.3.3 Adsorção em Função da Temperatura

Para a determinação dos parâmetros termodinâmicos foram feitos experimentos de adsorção em função da temperatura. 50 mL de solução de corante com concentração de 10 mg/L contendo 1 g de CA foram agitadas, no melhor valor de pH sob diferentes temperaturas: 15°C, 20°C, 30°C e 40°C. Posteriormente, as amostras foram centrifugadas e analisadas no espectrofotômetro UV/VIS.

### 5.3.4 Adsorção em Função da Massa de Adsorvente

Foi analisada a influência das doses de CA com o processo de adsorção, para cada corante e para o efluente-modelo preparado no laboratório. Para isso, foi realizada uma Isoterma de adsorção, na qual se utilizarão *erlenmeyers* contendo separadamente 0,1; 0,25; 0,75; 1; 1,5; 2 e 2,5 g de CA devidamente identificados e pesados. As amostras foram mantidas sobre agitação e temperatura constante por aproximadamente 45 min. Logo após, a leitura foi feita em um espectrofotômetro, que determinou a capacidade de adsorção dos CA.

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 PH E PONTO DE CARGA ZERO

O pH do ponto de carga zero (PCZ) nos dá o valor total, ou seja, a carga tanto da superfície interna quanto da superfície externa. O ponto de carga zero pode ser definido como sendo o pH do adsorvente no qual o balanço entre cargas positivas e negativas é nulo. O adsorvente pode apresentar cargas negativas quando o pH do meio for maior que o  $pH_{PCZ}$  e cargas positivas quando o valor de pH estiver abaixo do  $pH_{PCZ}$ . Desta maneira, o CA utilizados neste estudo tendem a apresentar cargas negativas em soluções com pH maior do que 8,13. Já para soluções com pH menor que o citado, os adsorventes estudados devem possuir cargas positivas.

Figura 4: gráfico do pH e ponto de carga zero

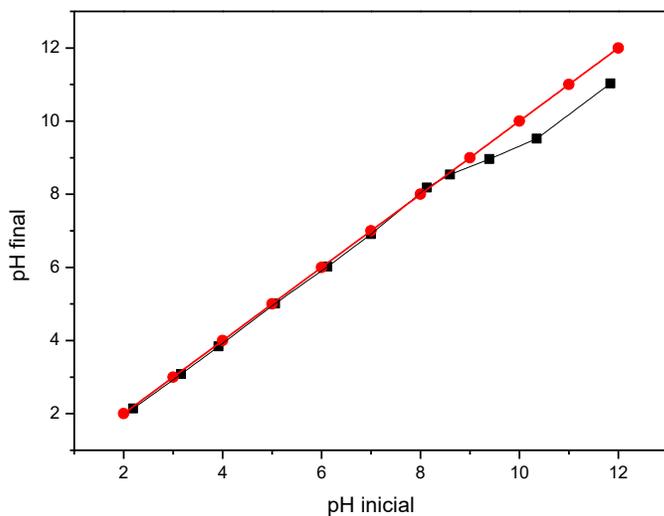
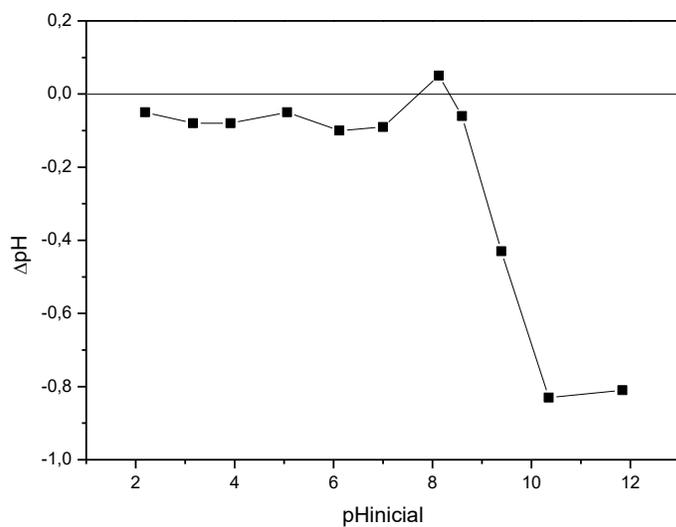


Figura 5: Determinação do  $PH_{PCZ}$  do carvão ativado.

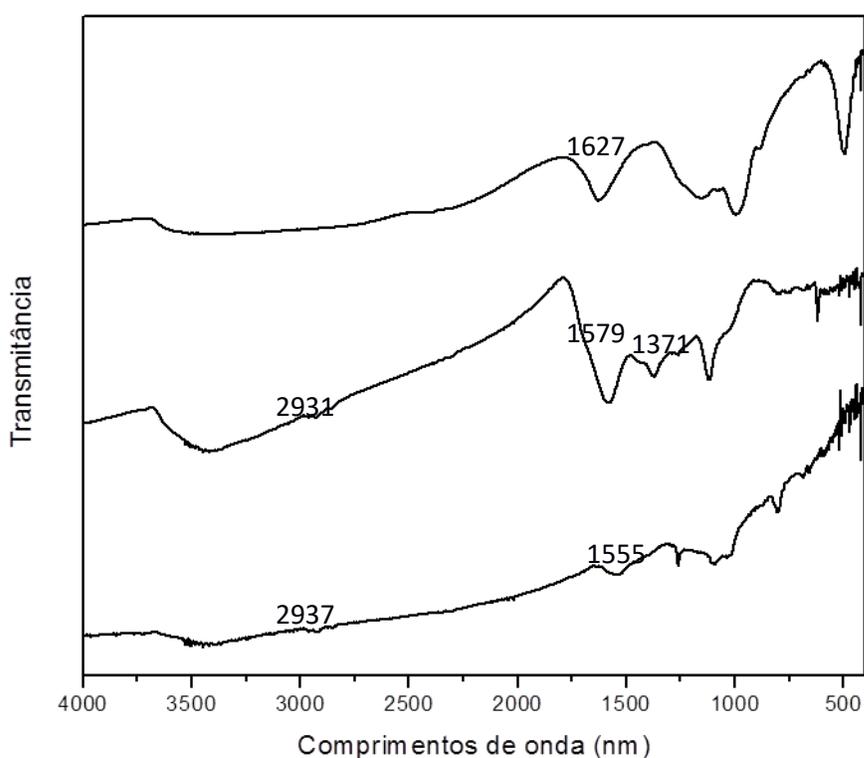


## 6.2 ESPECTROSCOPIAS DE ABSORÇÃO NA REGIÃO DO INFRAVERMELHO

O fenômeno da adsorção ocorre devido à presença de grupos funcionais que constituem o material adsorvente. Desta forma, utilizou-se a técnica de espectroscopia na região do infravermelho para elucidar os grupos funcionais que podem estar presentes na estrutura do adsorvente. Comparado

ao carvão comercial, os carvões com e sem ativação apresentaram um aumento de intensidade das bandas de absorção, modificando a estrutura do carvão. Os espectros mostram uma banda de transmitância larga em  $3200-3600\text{ cm}^{-1}$ , esta banda pode ser atribuída ao modo de estiramento O-H de grupos hidroxilas e/ou água adsorvida. A análise do espectro na região do infravermelho para o carvão ativado (Figura 6) sugere que o material orgânico apresentou uma carbonização efetiva, uma vez que não podem ser observadas bandas acentuadas (Espectros B e C) em  $2900\text{ cm}^{-1}$ , que são características do estiramento C-H. A banda em aproximadamente  $1580\text{ cm}^{-1}$  e  $1300\text{ cm}^{-1}$ , aproximadamente, pode ser atribuída ao estiramento da ligação  $\text{C}=\text{C}$  de compostos aromáticos e -CH.

Figura 6- Espectros de infravermelho para o (a) carvão não ativado, (b) carvão ativado e (c) carvão comercial



Fonte: elaborado pelos autores.

### 6.3 ÍNDICES DE IODO DO CARVÃO ATIVADO

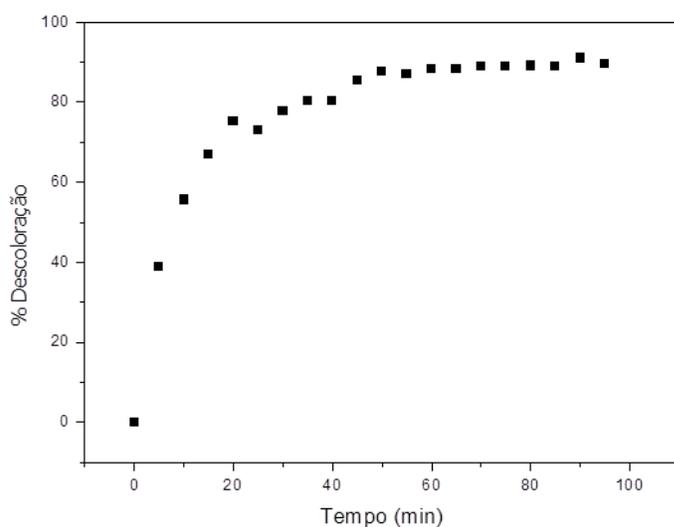
O índice de iodo está relacionado à microporosidade do CA, uma vez que requer poros com abertura inferior a  $1\text{ nm}$  para ser adsorvida. Estima-se que  $1\text{ mg}$  de iodo adsorvido corresponda a  $1\text{ m}^2$  de superfície interna (ELHENDAWY et al., 2001). Os números de iodo de CA geralmente se encontram na faixa de  $448$  a  $1134\text{ mgI}_2/\text{g}$  de CA (Molleta, 2011), portanto o valor obtido de  $789\text{ mgI}_2/\text{g}$  está dentro dos valores encontrados na literatura. Entretanto, deve-se levar em consideração que matérias-primas diferentes resultam em CAs com diferentes características. Além disso, a qualidade

dos adsorventes deve ser determinada pelo conjunto de suas características, não apenas por valores isolados (Molleta, 2011).

#### 6.4 ADSORÇÃO EM FUNÇÃO DO TEMPO

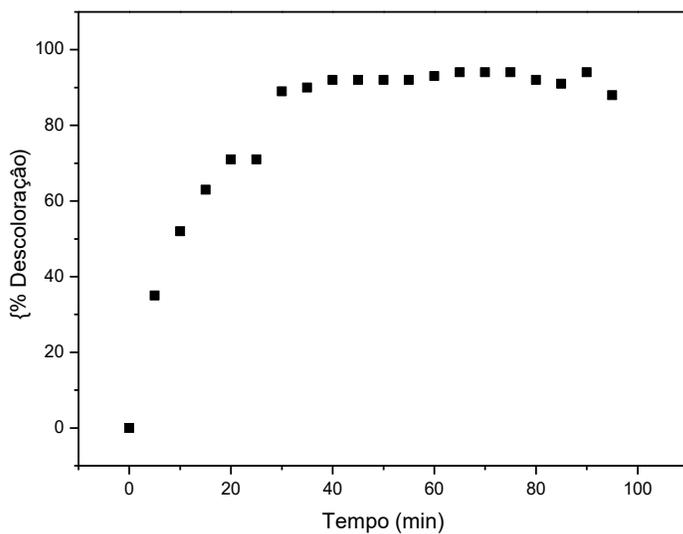
A capacidade de adsorção do CA é ligada ao tempo de contato entre adsorvente e adsorbato e das características físicas e químicas do material adsorvente. As Figuras 6 e 7 mostram a porcentagem de descoloração dos corantes Amarelo Remazol e Alaranjado Remazol com concentração de  $10 \text{ mg.L}^{-1}$  em um intervalo de 5 a 95 min. Após os primeiros 25 minutos ocorre uma adsorção de aproximadamente 70%, e com 45 min a adsorção é de aproximadamente 90%. Após os 45 min não ocorrem variações consideráveis na porcentagem de descoloração.

Figura 7: Tempo de Adsorção: Corante Amarelo



Fonte: elaborado pelos autores

Figura8: Tempo de Adsorção: Corante Alaranjado



### 6.5 ADSORÇÃO EM FUNÇÃO DO PH

Efeitos do pH inicial na porcentagem de remoção dos corantes Amarelo Remazol e Alaranjado Remazol foram avaliados em uma faixa de pH entre 2 e 10 (Figura 6 e 7, respectivamente). Na Figura 6 é observado que a remoção percentual do corante tem um pequeno aumento com o aumento do pH elevando-se a 95% ao atingir pH=3, e diminuindo levemente em pHs superiores. Na Figura 7 também é observado um aumento no percentual de remoção do corante com o aumento do pH elevando-se a 99% ao atingir pH=6, tendo uma leve diminuição do percentual nos demais valores de pH.

Figura 9: pH Corante Amarelo

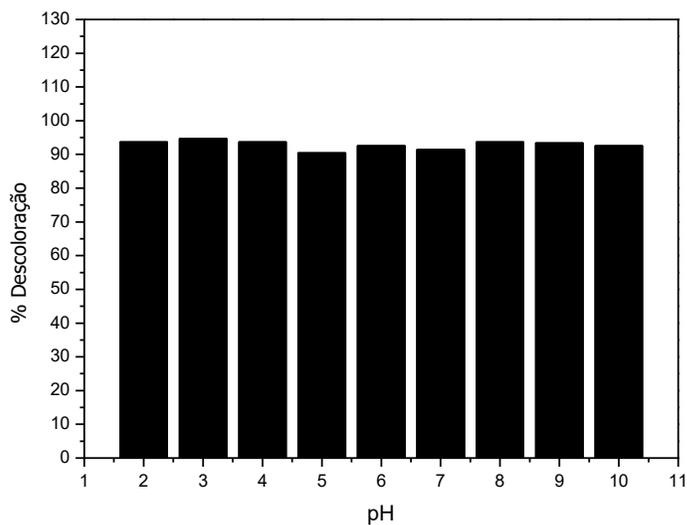
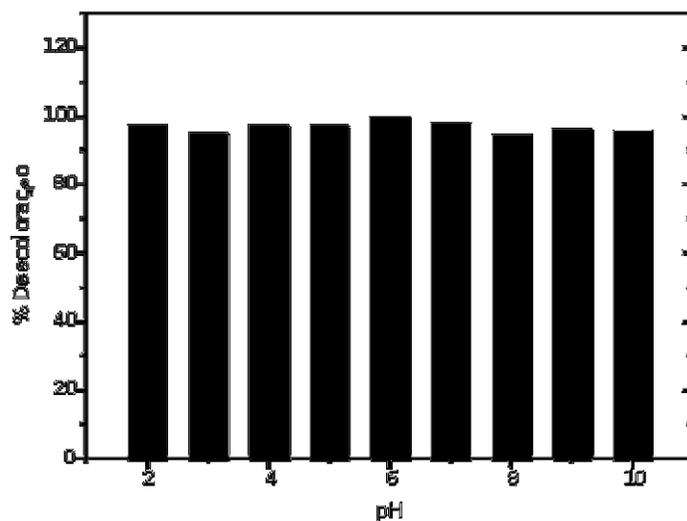


Figura 10 : pH Corante Alaranjado

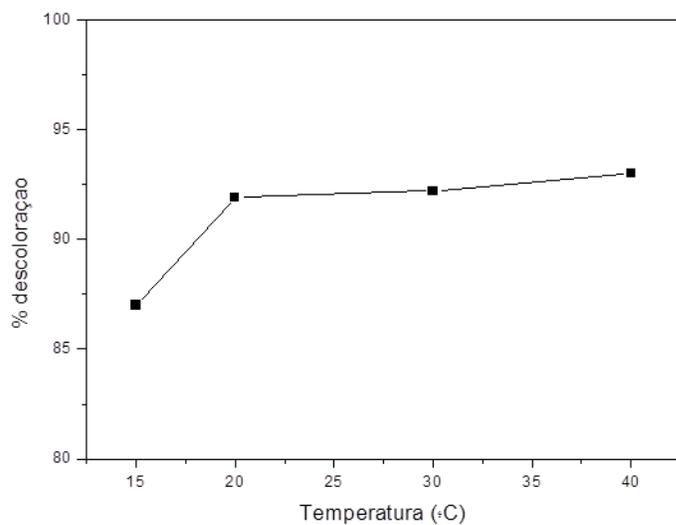


## 6.6 ADSORÇÃO EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA

As isotermas de adsorção de CA sobre os dois corantes foram realizadas utilizando uma faixa de temperatura de 15 a 40 °C e as melhores condições experimentais descritas anteriormente. As Figuras 12 e 13 apresentam as variações do percentual de decoloração dos corantes nas temperaturas de 15, 20, 30 e 40 °C para ambos os corantes. Para o corante Amarelo Remazol notou-se um aumento

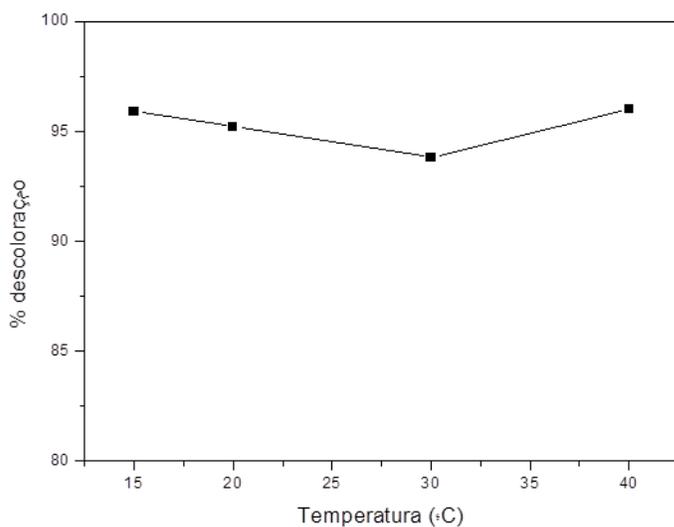
no percentual de descoloração para as temperaturas acima de 20 °C, porém não apresentaram um aumento percentual significativo. No entanto, para o corante Alaranjado Remazol não houve mudanças significativas no percentual de descoloração em ambas as temperaturas

Figura 11: adsorção em função da temperatura para o corante amarelo.



Fonte: elaborado pelos autores.

Figura 12: adsorção em função da temperatura para o corante alaranjado

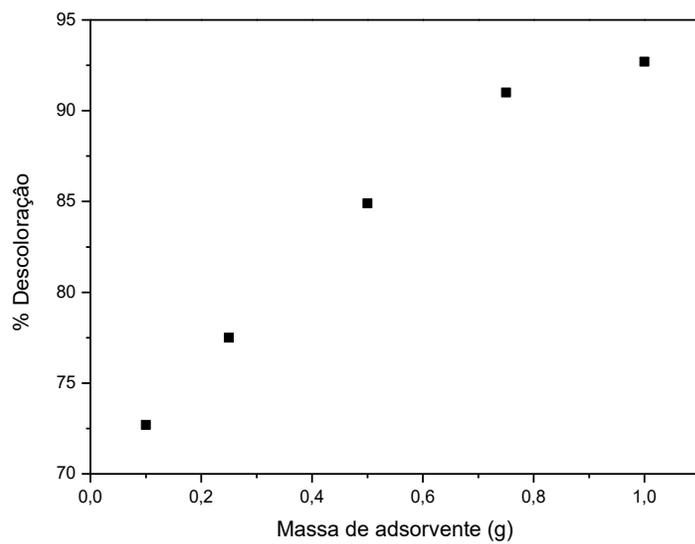


Fonte: elaborado pelos autores

### 6.7 ADSORÇÃO EM FUNÇÃO DA MASSA DE ADSORVENTE

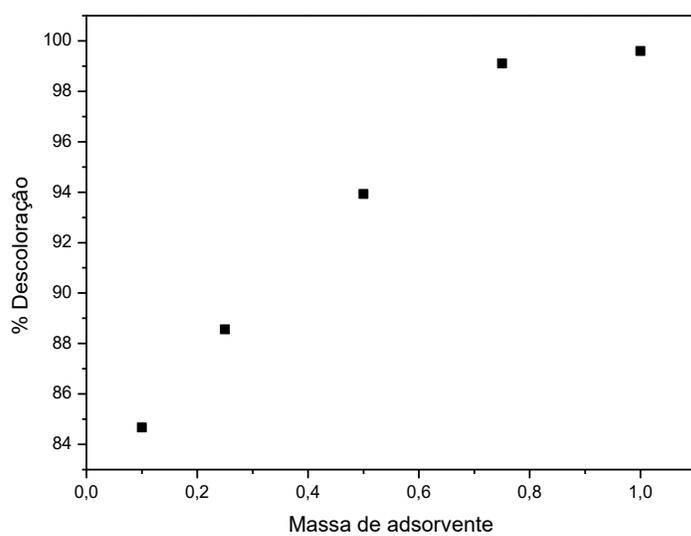
A quantidade de adsorvente presente na solução pode influenciar diretamente a capacidade de adsorção, por isso, foram realizados testes variando a massa de adsorvente em 0,1; 0,25; 0,75; 1; 1,5; 2 e 2,5g para cada corante durante o melhor tempo de adsorção. As amostras que foram expostas a 0,1; 0,25 e 0,75 g de CA apresentaram uma porcentagem de descoloração de aproximadamente 90%, já as amostras que foram expostas a 1g apresentaram um percentual de descoloração de aproximadamente 100%. As outras amostras apresentaram resultados semelhantes à de 1g.

Figura 10: estudo da quantidade de adsorvente para o corante amarelo



Fonte: elaborado pelos autores

Figura 11: estudo da quantidade de adsorvente para o corante alaranjado



Fonte: elaborado pelos autores.

## 6.8 ENSAIO DE TOXICIDADE

Após o tratamento com o CA produzido do mesocarpo da flor de abril e dentro dos melhores parâmetros de adsorção, foi realizado o teste de toxicidade utilizando a bactéria marinha bioluminescente *Vibrio fischeri*. Podendo assim constatar que ambos os corantes submetidos ao tratamento não apresentaram toxicidade à este organismo teste.

## 7. CONCLUSÃO

- A partir dos resultados obtidos no presente trabalho pode-se verificar que a Flor de Abril apresenta-se como matéria-prima de grande potencial para a produção de carvão ativado. Por meio dos testes de adsorção foi observado que o CA preparado com o fruto, apresentou-se tão eficiente quanto o CA comercial na remoção de corantes têxteis. Essas características tornam os CA's produzido a partir da Flor de Abril uma alternativa interessante para o tratamento de efluentes têxteis, pois apresenta boas propriedades de adsorção além de ter um baixo custo de produção, devido a matéria-prima estar disponível sem utilização e valor comercial agregado.
- O CA utilizado neste estudo tendem a apresentar cargas negativas em soluções com pH maior do que 8,13. Já para soluções com pH menor que o citado, o material adsorvente apresenta cargas positivas.
- Após 45 min de contato com a solução de corante os percentuais de descoloração apresentam variações pouco significantes, determinando este como melhor tempo de adsorção.
- A eficiência da adsorção para os corantes é praticamente independente do pH do meio. Nos experimentos foi possível notar que não há interferência na eficácia da adsorção quando o CA é submetido a soluções com pHs variados.
- Há um pequeno aumento da adsorção dos corantes pelo CA quando a temperatura é elevada a 40 °C, porém não foi relatado mudanças significativas no percentual de descoloração quando as amostras foram submetidas as temperaturas de 15, 20 e 30 °C, indicando que a mesma não afeta de maneira considerável a adsorção.

- Com os experimentos de adsorção foi possível verificar a influência da massa de material adsorvente na capacidade de adsorção dos corantes. Observou-se que as massas de ( 0,25, 0,5, 0,75 e 1,0 g ) apresentar um valor crescente de adsorção para 50 mL de solução de corante com concentração inicial de 10 mg. L<sup>-1</sup>. Os valores de massa superiores (1,5, 2,0 e 2,5 g) apresentaram pouca variação quando comparadas às de 1,0 g sob os mesmos parâmetros.

## REFERÊNCIAS

AFDEGS; KHRAISHEH; ALLEN; AHMAD, 2000. **Water Res**, p. 34, 927.

BANAT, I.M. et al. Microbial process for the decolorization of textile effluent containing azo, diazo and reactive dyes. **Process Biochem.**, v. 31, p. 435-442, 1996.

BUENO, C.I.C.; CARVALHO, W.A. Remoção de Chumbo (II) em sistemas descontínuos por carvões ativados com ácido fosfórico e com vapor. **Química Nova**, v. 30, n. 8, out. 2007.

CASTRO, C.S et al. Remoção de compostos orgânicos em água empregando carvão ativado impregnado com óxido de ferro: ação combinada de adsorção e oxidação em presença de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n.6, 2009.

DOTTO, G.L et al. Remoção dos corantes azul brilhante, amarelo crepúsculo e amarelo tartrazina de soluções aquosas utilizando carvão ativado, terra ativada, terra diatomácea, quitina e quitosana: estudos de equilíbrio e termodinâmica. **Química Nova**, Rio Grande, v. 34, N.7, p. 1193-1199, fev/mai. 2011.

DURAN, N.; MORAIS, S.G.; FREIRE, R.S. Degradation and toxicity reduction of textile effluent by combined photocatalytic and ozonation processes. **Chemosphere**. v.40, p.369-373, 2000.

FREITAS, L. C; BUENO, L.C.S. **Carvão Ativo: Breve Histórico e Estudo de Sua Eficiência na Retenção de Fármacos**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Farmácia) - União das Faculdades dos Grandes Lagos, São José do Rio Preto, 2014.

GUARATINI, C.C.I.; ZANONI, M.V.B. Corantes Têxteis. **Química Nova**, São Paulo, v. 23, n. 1, 2000. Disponível em < <http://quimicanova.sbq.org.br>>. Acesso em: 22 de mar. 2016.

HASSEMER, M.E.N. **Oxidação fotoquímica - uv/h<sub>2</sub>o<sub>2</sub> - para degradação de poluentes em efluentes da indústria têxtil**. 2006. 175 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

HITZ; HUBE; REED. et al. **J. Soc. Dyes and Colour**, 1978. p. 71-94.

KUNZ, A; PERALTA-ZAMORA, P.; MORAIS. S; DURÁN. N. **Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis**. Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, 2002.

LIMA, A. J. B. et al. Emprego do carvão ativado para remoção de cobre em cachaça. **Química Nova**, São Paulo, v.29, n.2, p.247-250, 2006.

MOLLETA, N.R. **Caracterização e aplicação de carvão ativado produzido a partir de biomassa amilácea**, Paraná. 2011. 61 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Tecnologia em Processos Ambientais) – Departamento Acadêmico de Química e Biologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

MORUZZI, R.B. et al. Ácido mefenâmico em água utilizando carvão ativado em pó, çama vermelha e oxidação com cloro. **Química Nova**, v. 37, n. 10, out. 2014. Disponível em < <http://www.scielo.br>> . Acesso em: 21 set, 2016.

PANDEY, A.; SINGH, P.; IYENGAR, L. Bacterial Decolorization and Degradation of Azo Dyes. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 59, p. 73-84, 2007.

PEIXOTO; MARINHO; RODRIGUES. Corantes têxteis: uma revisão. **Holos**, v.5 p. 98-106, Jan/out. 2013.

PEIXOTO; TOLEDO; SOUZA, J.S.I. et al. **Enciclopédia agrícola brasileira C-D**, São Paulo: EDUSP, 1998. p.598.

PICCIN, J.S. **Resíduos sólidos da indústria coureira como adsorvente alternativo de corantes**. 2013. 175 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande Do sul, Porto Alegre, 2013.

RAMOS, P. H. et al. Produção e caracterização de carvão ativado produzido a partir do defeito preto,verde, adido (PVA) do café. **Química Nova**, São Paulo, v.32, n. 5, 2009.

RODRIGUEZ, F.R.; MOLINA, M.S.; GONZALEZ, M. T. **Carbon**, 1995. p. 15-33.

RUTZ, E. G.; CARVALHO, C.; PIRES, C.; CURIEL, G. L. **Adsorção do corante têxtil amarelo remazol usando um dos rejeitos da fabricação da alumina como adsorvente**. R. Esc. Minas, Ouro Preto, 2008.

SMITH, B.; KOONCE, T.; HUDSON, S. **Am. Dyest Rep**, 1993. p.10-18.

TIBURTIUS. et al. Contaminação de águas por BTXs e processos utilizados na remediação de sítios contaminados. **Química Nova**, v. 27, n. 3, p. 441-446. 2004.