



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO SUL DE  
MINAS GERAIS - IFSULDEMINAS**

**Hércules José Marzoque**

**ADSORÇÃO DE CORANTES ARTIFICIAIS USANDO O CARVÃO ATIVADO  
ORIUNDO DO RESÍDUO DE COCO DE BABAÇU**

**Machado/MG  
2019**

**Hércules José Marzoque**

**ADSORÇÃO DE CORANTES ARTIFICIAIS USANDO O CARVÃO ATIVADO  
ORIUNDO DO RESÍDUO DE COCO DE BABAÇU**

Dissertação apresentada ao IFSULDEMINAS,  
como parte das exigências do Programa de Pós-  
Graduação *Stricto Sensu* em Ciência e  
Tecnologia de Alimentos, para a obtenção do  
título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. João Paulo Martins  
Coorientador: Prof. Dr. Olímpio G. S. Neto

**Machado/MG  
2019**

M357a Marzoque, Hércules José.  
Adsorção de corantes artificiais usando o carvão ativado oriundo do resíduo de coco de babaçu / Hércules José Marzoque. – Machado: [s.n.], 2019.  
63 p. : il.

Orientador: Prof. Dr. João Paulo Martins.

Dissertação (Mestrado) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais – Campus Machado  
Inclui bibliografia.

1. Corantes em alimentos. 2. Corantes - Indústria. 3. Corantes sintéticos. 4. Coco - Babaçu. 5. Coco - Produtos. 6. Água - Qualidade. I. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais – Campus Machado. II. Título.

664.06

**Hércules José Marzoque**

**ADSORÇÃO DE CORANTES ARTIFICIAIS USANDO O CARVÃO ATIVADO  
ORIUNDO DO RESÍDUO DE COCO DE BABAÇU**

Dissertação apresentada ao IFSULDEMINAS,  
como parte das exigências do Programa de Pós-  
Graduação *Stricto Sensu* em Ciência e  
Tecnologia de Alimentos, para a obtenção do  
título de Mestre.

APROVADA em 30 de setembro de 2019.

---

Prof. Dr. Flávio Adriano Bastos  
IFSULDEMINAS

---

Prof. Dr. Olímpio Gomes S. Neto  
Co-orientador - IFSULDEMINAS

---

Prof. Dr. João Paulo Martins  
Orientador - IFSULDEMINAS

A Deus pelo dom da vida.  
À minha querida esposa Helen, pela compreensão nos momentos  
de ausência e incondicional incentivo.  
Aos meus pais e irmão por sempre me apoiarem em minhas  
decisões.

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, o agradecimento ao nosso Deus, que nos concede o dom da vida, as oportunidades e muita garra para superar os desafios, que foram muitos.

À minha querida esposa Helen, pelo incentivo, compreensão e ajuda incondicional de sempre, para que este momento se concretizasse.

Aos meus pais, Célio e Onilda, e também ao irmão, Hélio, pelo apoio e incentivo durante todos os momentos da minha vida.

Agradeço ao meu orientador, professor Dr. João Paulo Martins, pela confiança, apoio e suporte durante a realização deste trabalho.

Ao programa de mestrado profissional do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Sul de Minas, campus Machado, que através de uma equipe super competente de professores e corpo técnico puderam contribuir tanto para nossa formação.

Agradeço ao Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Sul de Minas, campus Pouso Alegre, por disponibilizar os laboratórios para a realização dos experimentos.

Agradeço ao professor Dr. Fabiano Naves, pela ajuda, conselhos e incentivos durante esta trajetória.

Meus agradecimentos aos meus amigos, Erick e Emerson, pela ajuda durante o desenvolvimento dos experimentos.

Enfim, a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

## RESUMO

O presente trabalho avaliou o uso do carvão ativado do resíduo de coco de babaçu para remover os corantes artificiais azul brilhante e amarelo tartrazina em meio aquoso, por meio de planejamento fatorial com superfície de resposta. Os resultados obtidos demonstraram que os principais fatores para extração de corantes foram a quantidade de adsorvente e a concentração para ambos os corantes, e que a temperatura e pH menores favorecem a extração do corante amarelo. O ponto ótimo para extração identificado pelo experimento para o corante amarelo foi de 93,3672 ppm para concentração; 0,10 g para massa de adsorvente; 15°C para temperatura e 5,0 para pH. Já o corante azul é favorecido pela temperatura e pH mais elevados, porém estes fatores foram pouco significativos. Já o ponto ótimo para extração identificado para o corante azul foi de 46,41 ppm para concentração; 0,10 g para massa de adsorvente; 30°C para temperatura e 5,0 para pH. Conclui-se que o carvão ativado do resíduo de coco de babaçu possui potencial para ser utilizado como adsorvente para o tratamento de efluentes contendo os corantes amarelo tartrazina e azul brilhante.

Palavras-chave: Corantes artificiais. Amarelo tartrazina. Azul brilhante. Adsorção. pH. Temperatura. Planejamento fatorial. Superfície de resposta. Coco. Carvão.

## ABSTRACT

The present work evaluated the use of activated carbon from babassu coconut residue to remove artificial bright blue and yellow tartrazine dyes in aqueous medium by means of factorial design with response surface. The results showed that the main factors for dye extraction were the amount of adsorbent, both dyes concentration and that the lower temperature and pH favored the yellow dye extraction. The optimal extraction point identified by the experiment for the yellow dye was 93.3672 ppm for concentration; 0.10 g for adsorbent mass; 15°C for temperature and 5.0 for pH. Already the blue dye is favored by higher temperature and pH, but these factors were not significant. The optimal extraction point identified for the blue dye was 46.41 ppm for concentration; 0.10 g for adsorbent mass; 30°C for temperature and 5.0 for pH. It was concluded that activated carbon from babassu coconut residue has a potential to be used as adsorbent for the effluents treatment containing tartrazine yellow and bright blue dyes.

Keywords: Artificial dyes. Tartrazine yellow. Bright blue. Adsorption pH. Temperature. Factorial planning. Response surface. Coconuts. Coal.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Desempenho de processos e sistemas.....	25
Figura 2	Componentes técnicos da Metodologia de Superfície de Resposta (MSR), consequência geral de execução e descrição resumida de seus objetivos.....	29
Figura 3	Visão detalhada das interseções entre os componentes técnicos e os aspectos críticos da Metodologia de Superfície de Resposta (MSR) .....	30
Figura 4	Fluxo do preparo do experimento.....	35
Figura 5	Espectro na região visível do corante azul brilhante.....	35
Figura 6	Espectro na região visível do corante amarelo tartrazina.....	36
Figura 7	Gráfico de Pareto – fatores principais corante amarelo.....	41
Figura 8	Gráfico dos efeitos principais para extração.....	42
Figura 9	Gráficos de contorno para extração corante amarelo.....	42
Figura 10	Gráficos de contorno para extração corante amarelo ampliado.....	43
Figura 11	Gráfico de otimização.....	44
Figura 12	Relação entre a concentração e quantidade de adsorvente.....	44
Figura 13	Equação de regressão do corante amarelo.....	45
Figura 14	Gráfico de probabilidade normal e valores ajustados.....	45
Figura 15	Gráfico de Pareto – fatores principais corante azul.....	47
Figura 16	Gráfico de fatores principais corante azul.....	48
Figura 17	Gráfico de contorno para extração de corante azul.....	48
Figura 18	Gráfico de contorno ampliado.....	49
Figura 19	Gráfico de otimização.....	49
Figura 20	Gráfico de contorno.....	50
Figura 21	Gráfico de superfície ampliado.....	51
Figura 22	Equação de regressão do corante azul.....	51
Figura 23	Gráfico de probabilidade x ajustado.....	52

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Corantes alimentícios permitidos no Brasil.....	19
Tabela 2	Especificação do carvão.....	33
Tabela 3	Delineamento experimental – corante amarelo.....	37
Tabela 4	Delineamento experimental – corante azul.....	37
Tabela 5(a)	Valores encontrados para extração de corante amarelo.....	38
Tabela 5(b)	Valores encontrados para extração de corante azul.....	39
Tabela 6	ANOVA do corante amarelo.....	40
Tabela 7	ANOVA do corante azul.....	46

## LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
CA	Carvão ativado
CNNPA	Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio
DOE	Planejamento de experimentos ( <i>Design of Experiments</i> )
DQO	Demanda química de oxigênio
DTA	Doença Transmitida por Alimento
GL	Grau de liberdade
g	Gramas
HCl	Ácido clorídrico
HPA	Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos
K	Constante de velocidade
IDA	Ingestão diária aceitável
MSR	Metodologia de superfície de resposta
NaOH	Hidróxido de sódio
nm	Nanômetro
N <sup>o</sup>	Número
ppm	Partes por milhão
pH	Potencial hidrogênico
PVC	Policloreto de vinila
ONU	Organização das Nações Unidas
QM	Quadrado médio
RBBR	Azul brilhante de Remazol R
rpm	Rotações por minuto
R <sup>2</sup>	Coeficiente de determinação
S	Desvio padrão
SQ	Soma quadrática ajustada
UV	Ultravioleta

## LISTA DE SÍMBOLOS

°C	Graus Celsius
g/mol	Massa molar
km <sup>3</sup>	Quilômetros cúbicos
m <sup>2</sup> /g	Metro quadrado por grama
%	Porcentagem
μm	Micrômetro

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
1.1	Objetivo geral.....	13
1.2	Objetivos específicos.....	13
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>14</b>
2.1	Qualidade da água e afluentes.....	14
2.2	Escassez da água.....	15
2.3	Aditivos químicos na indústria de alimentos.....	16
2.3.1	Corantes na indústria de alimentos.....	17
2.4	Características dos corantes sintéticos.....	18
2.4.1	Amarelo tartrazina.....	20
2.4.2	Azul brilhante.....	21
2.5	Coco de babaçu.....	22
2.5.1	Produtos fabricados a partir do coco.....	23
2.6	Planejamento de experimentos.....	24
2.7	Análise fatorial no processo de tratamento de resíduos líquidos.....	30
2.8	Adsorção.....	31
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>33</b>
3.1	Preparo do carvão.....	33
3.2	Preparo das soluções.....	34
3.3	Preparo do experimento.....	34
3.4	Análise experimental.....	36
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>38</b>
4.1	Avaliação do design experimental.....	38
4.2	Resultados obtidos a partir do corante amarelo.....	39
4.3	Resultados obtidos a partir do corante azul brilhante.....	45
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>53</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>54</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A água é um mineral que recobre quase toda a superfície da Terra. Apesar de seu grande volume, a quantidade de água potável disponível para consumo é muito baixa, em torno de 1% e, desse valor, apenas 0,02% são água doce superficial.

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), o consumo de água dobrou em relação ao crescimento populacional no último século. O Brasil é um país privilegiado, pois conta com 28% da disponibilidade sul-americana e 12% das reservas de água do mundo (VICTORINO, 2007).

Por outro lado, nas indústrias de alimentos, a água é amplamente usada nas formulações de produtos, para higienização de instalações, nos processos físicos, como resfriamento e aquecimento, dentre outros.

No entanto, a utilização da água, principalmente nas indústrias de alimentos e têxteis, tem levado as leis ambientais a ficarem cada vez mais rígidas, principalmente em relação ao emprego dos corantes por essas empresas que contaminam as águas que, por sua vez, retornam podendo contaminar os mananciais. Nesse contexto, as indústrias vêm buscando alternativas que minimizem os impactos ambientais através da eliminação ou redução dos corantes.

Os corantes pertencem à classe dos aditivos e são amplamente utilizados na formulação de alimentos com o objetivo principal de restituir a aparência original (afetada durante as etapas de processamento, estocagem, embalagem ou distribuição), para conferir pigmentação aos desprovidos de cor e para reforçar as tonalidades presentes nos alimentos.

Porém, a presença desses agentes nos corpos d'água sob forma de efluentes industriais pode oferecer sérios problemas ao meio ambiente e também à população que, na maioria das vezes, utiliza águas captadas de rios para o consumo humano.

No entanto, o carvão produzido à base de coco de babaçu pode oferecer um grande potencial de utilização como adsorvente para a remoção de corantes.

Foi realizado um experimento modelo utilizando-se análise fatorial com superfície de resposta para tratar a combinação das variáveis pH, temperatura, concentração e quantidade de adsorvente a fim de avaliar a capacidade adsortiva do carvão produzido a partir do resíduo do coco de babaçu.

## **1.1 Objetivo geral**

Analisar o uso de carvão ativado do resíduo do coco de babaçu para remoção de corantes artificiais, como o azul brilhante e amarelo tartrazina, em meio aquoso.

## **1.2 Objetivos específicos**

- a) Análise da influência do pH, concentração de corante, temperatura e quantidade de adsorvente sobre o percentual de extração de corante (azul ou amarelo);
- b) Identificar a significância dos parâmetros pH, concentração de corante, temperatura, quantidade de adsorvente através do planejamento fatorial;
- c) Determinar as condições ótimas dos parâmetros na remoção do corante através do método de superfície de resposta.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Qualidade da água e efluentes

A água constitui-se um elemento indispensável à sobrevivência de todos os organismos vivos; além disso, é extremamente importante para a manutenção do clima na terra. A água pode apresentar qualidades variáveis, dependendo do local e das condições de sua origem. O suprimento de água doce de boa qualidade é essencial para o desenvolvimento econômico, para a qualidade de vida das populações humanas e para a sustentabilidade dos ciclos dos nutrientes no planeta (TUNDISI, 2003a).

A água existe há pelo menos 3,9 bilhões de anos. No entanto, o homem, em poucas gerações, já conseguiu comprometer não só a qualidade, mas também a quantidade desse manancial natural. Pode-se avaliar o grau de desenvolvimento de um povo pela qualidade da água e dos serviços de saneamento que são oferecidos à população. A capacidade de suporte para a vida humana e para a sociedade é complexa, dinâmica e varia de acordo com a forma como o homem maneja os recursos ambientais (DIAS; DIAS, 2019).

O lançamento ilegal de efluentes industriais, esgoto sanitário e o desmatamento promovem a contaminação gradativa das águas, posteriormente transformando-se em um grave problema de saúde pública. Os recursos hídricos ficam extremamente comprometidos se a população que se estabelece ou já se estabeleceu em determinado local desenvolve atividades que degradam o meio ambiente. Entretanto, há uma necessidade cada vez maior de água em quantidade e qualidade suficientes para as diversas áreas crescentes no mundo (MELO; NEPOMUCENO, 2017).

Os baixos índices de tratamento dos esgotos urbanos e industriais, somados à utilização desregrada de agroquímicos, têm provocado graves problemas de degradação de rios e lagos e desencadeado processos de contaminação das águas subterrâneas, tão preciosas (VICTORINO, 2007).

As convenções internacionais estabelecem que qualquer tipo de material ou substância que interfira no equilíbrio de um determinado ecossistema é considerado um poluente. Nesse sentido, a degradação dos rios possui diversas causas, inclusive o comportamento inadequado ou conivente da população ao descartar seus resíduos de forma irregular, ou não cobrar de empresas e governos uma postura mais sustentável. No caso das águas, os principais e mais comuns poluentes são esgoto doméstico, petróleo e seus derivados, metais pesados, substâncias organocloradas (poluentes orgânicos persistentes) e lixo (SILVA, 2014).

A água potável se perde em média 50% nos vazamentos de sistemas de distribuição e, se nada for feito no sentido de mudanças de comportamento, no ano de 2025 serão mais de 4 bilhões de pessoas que não terão acesso a esse bem tão precioso e essencial para a vida (DIAS; DIAS, 2019).

Segundo dados divulgados pela *WWF Internacional*, cada litro de água poluída contamina pelo menos 8 litros de água limpa. O mundo já tem 12 mil km<sup>3</sup> de água poluída circulando em seus rios. Com a crise que se alastra, mais de 1 bilhão de pessoas não têm acesso à água para beber, 1/4 de terras do planeta já estão desertas. O desperdício é outro grande problema, e muitas vezes as pessoas não se dão conta de que um gotejar de torneira, dependendo da vazão, causa, por dia, um desperdício de 46 litros do precioso líquido e 1.380 por mês, sendo essa uma das causas da escassez (VICTORINO, 2007).

## **2.2 Escassez da água**

A água já foi considerada um recurso inesgotável, pois o ecossistema fazia crer que os mananciais de águas cristalinas, abundantes e renováveis, nunca chegariam ao fim. Apesar de o planeta ser constituído superficialmente por aproximadamente 75% de água, existe o paradoxo da escassez, pois a água não está distribuída geograficamente de maneira uniforme (TUNDISI, 2003b).

A agricultura absorve, em média mundial, 70% das provisões de água, que passa para 80 a 90% nos países em desenvolvimento. A água potável se perde, em média, 50% nos vazamentos de sistemas de distribuição e, se nada for feito no sentido de mudanças de comportamento, no ano de 2025 serão mais de 4 bilhões de pessoas que estarão passando sede (VICTORINO, 2007).

Barbosa (2008, p. 15) afirma que “a água potável é um recurso natural finito e sua quantidade usável, *per capita*, diminui a cada dia com o crescimento da população mundial e com a degradação dos mananciais.”

A água atende a múltiplos interesses humanos e ocupa 75% da superfície do planeta. Do volume total, 97% estão nos oceanos e mares e são salgadas, e outros 2% estão armazenados nas geleiras, em lugares quase inacessíveis. Apenas 1% de toda a água do planeta está disponível para o uso e, desta, menos de 0,02% é água doce superficial (LIRA; CÂNDIDO, 2013).

O uso racional da água, tanto para indústrias, consumo humano e agrícola, deixou de ser apenas um conceito e passou a ser um diferencial na sociedade, tendo em vista que isso

reduz custos, evita multas e colabora para uma melhor sustentabilidade ambiental ao evitar, assim, a exploração de novas fontes para suprir o consumo e o desperdício (MAIMONE; HARDER, 2014).

Nas indústrias de alimentos pode-se ressaltar algumas funções da água, tais como fazer parte da formulação dos produtos, nos processos físicos de aquecimento ou resfriamento, e também na limpeza e sanitização. A água imprópria na produção de alimentos gera consequências – desde uma alteração das características sensoriais até uma Doença Transmitida por Alimento (DTA), pois atua como um veículo para microrganismos deteriorantes e patogênicos (QUÍMEA, 2018).

### **2.3 Aditivos químicos na indústria de alimentos**

No Brasil, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (BRASIL, 2008) é o órgão regulador do uso e limites máximos dos aditivos nos alimentos, através da RDC nº 64, de 16 de setembro de 2008.

Aditivo alimentar é qualquer ingrediente adicionado aos alimentos intencionalmente, sem o propósito de nutrir, com o objetivo de modificar as características físicas, químicas, biológicas ou sensoriais do alimento (BRASIL, 1997).

De modo geral, a indústria alimentícia utiliza-se de aditivos com a finalidade de conservar, acentuar sabores, evitar oxidações (rancificação de gorduras ou escurecimento de frutas/sucos), acentuar ou mesmo colorir os alimentos (CONTE, 2016).

Antes do emprego dos aditivos químicos nos alimentos, esses tinham curta vida de prateleira e a utilização dessas substâncias possibilitou preservar por mais tempo as características do alimento, bem como melhorou suas propriedades sensoriais (ALBUQUERQUE et al., 2012).

As indústrias de alimentos são umas das que mais crescem mundialmente, sendo que as de doces têm maior destaque, aumentando seu faturamento a cada ano. Isso se torna possível através da utilização dos corantes (PRADO; GODOY, 2007).

Porém, Souza (2012) afirma que os corantes mais utilizados pelas indústrias são os artificiais, por apresentarem menores custos de produção e maior estabilidade frente aos naturais. Embora o consumidor esteja mais atento, preferindo os corantes naturais, ainda é bem discreta a utilização destes, pois exigem mais atenção ao processamento e armazenamento.

A autora supracitada ainda infere que os corantes artificiais são utilizados para restaurar possíveis perdas de coloração que ocorrem durante a produção e armazenamento, mantendo,

assim, a uniformidade do produto e tornando-o mais atrativo aos consumidores (SOUZA, 2012).

### **2.3.1 Corantes na indústria de alimentos**

Os corantes são compostos orgânicos que, devido à presença de grupos cromóforos, tais como nitro, nitroso, azo e carbonila, possuem a propriedade de absorver luz visível seletivamente, sendo, por isso, coloridos. Nas moléculas de corantes existem dois componentes importantes: cromóforos, que são responsáveis pela produção da cor, e auxocromos, que aumentam a fixação do corante ao produto. Alguns grupos auxocromos, como etila, amino, sulfônico, hidroxila, metóxi, etóxi, cloro e bromo, ajudam a intensificar suas cores. Cerca de 40.000 tipos de corantes e pigmentos listados consistem em mais de 7.000 estruturas químicas diferentes. A maioria deles são completamente resistentes aos processos de biodegradação. São considerados como compostos orgânicos perigosos para o ambiente (SÁ, 2013).

Segundo Elbanna et al. (2017), a produção mundial de corantes azo encontra-se em cerca de um milhão de toneladas por ano, havendo mais de 2.000 tipos diferentes desses pigmentos em uso, o que determina que mais da metade de todos os corantes no mundo seja dessa classe química (ELBANNA et al., 2017).

Estima-se que exista cerca de 10.000 diferentes tipos de corantes e pigmentos comerciais e que mais de  $7 \times 10^5$  toneladas são produzidas anualmente em todo o mundo, das quais 26 mil toneladas são consumidas anualmente no Brasil (SÁ, 2013).

De acordo com a Resolução nº 44/77, da Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos (CNNPA, 1977), os corantes permitidos para uso em alimentos e bebidas são classificados em: a) corante orgânico natural, obtido a partir de vegetal ou, eventualmente, de animal, cujo princípio tenha sido isolado com o emprego de processo tecnológico adequado; b) corante orgânico artificial, obtido por síntese orgânica, mediante o emprego de processos tecnológicos adequados e não encontrado em produtos naturais; c) corante orgânico sintético idêntico ao natural, cuja estrutura química é semelhante a do princípio isolado do corante orgânico natural; d) corante inorgânico ou pigmento, obtido a partir de substâncias minerais e submetido a processos de elaboração e purificação adequados ao seu emprego em alimentos.

Segundo Fernandes et al. (2010), os corantes podem ser classificados tanto por sua estrutura química quanto por suas propriedades e aplicações, e devem possuir elevada estabilidade química e fotolítica, satisfazendo, assim, as propriedades de solidez exigidas.

A remoção da pigmentação em efluentes visa atender à legislação e diminuir os danos ambientais, visto que os corantes possuem certo grau de toxicidade e elevam a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e a demanda química de oxigênio (DQO). A remoção dos corantes é considerada um desafio ambiental e, portanto, ter um processo eficaz para a sua descoloração se torna uma necessidade constante (SALLEH; MAHMOUD, 2011).

Os corantes naturais, em geral, são menos tóxicos em relação aos sintéticos, porém, obtê-los com um grau de pureza adequado e que atenda às necessidades da indústria de alimentos os tornam mais caros. Há outras problemáticas enfrentadas pelos corantes naturais, pois possuem uma quantidade restrita de cores e não são economicamente viáveis para serem sintetizados em processos industriais. Na outra via, os corantes sintéticos são produzidos em larga escala com custos menores e com amplo espectro de colorações, tornando-os mais acessíveis às práticas industriais (CUNHA, 2016).

A Resolução nº 357/2005 (CONAMA, 2005) dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências. Essa Resolução foi complementada pela Resolução nº 410/2009 (CONAMA, 2009) e pela Resolução nº 430/2011 (CONAMA, 2011).

Portanto, para as águas doces nas classes 1 e 2, fica estabelecido que não será permitida a presença de corantes provenientes de fontes antrópicas que não sejam removíveis por processo de coagulação, sedimentação e filtração convencionais.

## **2.4 Características dos corantes sintéticos**

Com o aumento da demanda, os extratos vegetais contendo carotenoides vêm cada vez mais sendo adicionados de corantes ao longo dos anos. São utilizados em alimentos como extratos de cenoura, extrato de óleo de palma, açafrão em pó, extrato de tomate e pimenta vermelha em pó (SATO et al., 1992; CÂMARA, 2017).

Nesse sentido,

Muitos estudos vem tentando demonstrar as reações adversas que os corantes podem causar, assim o monitoramento dos teores destes em alimentos tem, continuamente, contribuído para alertar para um consumo consciente desses produtos alimentícios. (SOUZA, 2012, p. 54).

O tipo mais comum de corante artificial utilizado nas indústrias alimentícias é o grupo de corantes azoicos, o qual possui um grupo cromóforo denominado azo ( $N=N$ ). Os azo-

corantes e seus produtos derivados são conhecidos por apresentarem sérios efeitos carcinogênicos. No Brasil, segundo a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), são permitidos em alimentos apenas 11 corantes sintéticos, dos quais o amarelo tartrazina e o azul brilhante se destacam pelo uso em vários produtos alimentícios e, por isso, foram escolhidos para esse estudo. Na Tabela 1 demonstra-se a classificação segundo códigos de referência para aditivos alimentares (números E) e o limite de ingestão diária aceitável (IDA) para os corantes permitidos no Brasil.

Tabela 1 - Corantes alimentícios permitidos no Brasil.

Nome (peso corpóreo)	Códigos	Cor	IDA/mg/kg
Amarelo tartrazina	E-102	Amarelo limão	7,5
Amarelo crepúsculo	E-110	Laranja	2,5
Azorrubina	E-122	Vermelho	4,0
Amaranto	E-123	Magenta	0,5
Porceau 4R	E-124	Cereja	4,0
Vermelho eritrosina	E-127	Pink	0,1
Vermelho 40	E-129	Vermelho alaranjado	7,0
Azul patente V	E-131	Azul	15,0
Azul de indigotina	E-132	Azul royal	5,0
Azul brilhante	E-133	Azul turquesa	10,0
Verde rápido	E-143	Verde mar	10,0

Fonte: Prado e Godoy (2003).

A respeito da legislação dos corantes sintéticos empregados nas indústrias de alimentos nos demais países, a revista *Aditivos Ingredientes* (2018, p. 24) diz o seguinte:

[...] Devido à diversidade de substâncias com poder corante, a lista dos permitidos em cada país variava substancialmente. Com a utilização cada vez maior desses aditivos, os países começaram a estabelecer legislações para controlar seu uso. Assim, comitês internacionais, tais como a Comissão do *Codex Alimentarius*, têm sido criados com o intuito de, entre outros objetivos, estabelecer especificações e critérios para a utilização de aditivos alimentares, incluindo os corantes sintéticos [...]. Atualmente, 17 corantes artificiais são permitidos na União Europeia para uso em alimentos e bebidas. Alguns países, como a Noruega e a Suécia, proibem o uso de corantes artificiais nos alimentos.

Os corantes sintéticos são altamente resistentes à biodegradação e, com frequência, não são removidos por processos de tratamento convencionais químicos e físicos, o que os tornam um relevante fator de poluição ambiental (NIGAM et al., 2000).

Métodos biológicos para tratamento de efluentes, especialmente os baseados na biodegradação, são mais atrativos por possibilitar a redução da toxicidade dos subprodutos da descoloração. Ademais, possuem baixo custo operacional quando comparados aos métodos físicos e químicos de tratamento de efluentes (HEINFLING-WEIDTMANN et al., 2001;

KUHAD et al., 2004). Nesse contexto, uma estratégia promissora é a utilização de micro-organismos com capacidade de descoloração (LIU et al., 2004).

O tratamento biológico é uma das alternativas mais econômicas e eficientes para a degradação da matéria orgânica de efluentes biodegradáveis. Conforme Jordão e Pessôa (2011), são considerados como tratamentos biológicos processos que necessitam de microrganismos presentes nos esgotos. As atividades relacionadas são majoritariamente transformações de compostos complexos em compostos simples, como sais minerais, gás carbônico e outros.

No tratamento anaeróbio, a produção de metano e de efluente estabilizado é muito importante na digestão anaeróbia e pode ser utilizada como combustível e biofertilizante, respectivamente. Há muito conhecido, o processo anaeróbio, nas últimas décadas, teve importantes avanços no conhecimento de seus fundamentos. No tratamento anaeróbio, ocorre elevada remoção de material orgânico suspenso e solúvel – inclusive substâncias tóxicas, como os fenóis –, porém a remoção de nutrientes é baixa (BRUNO; OLIVEIRA, 2008).

A seguir, serão apresentados os tipos de corantes sintéticos que serão objetos de estudo e experimento deste trabalho, que são o amarelo tartrazina e o azul brilhante.

#### **2.4.1 Amarelo tartrazina**

A tartrazina, substância de nome químico sal trissódico de 4,5-dihidro-5-oxo-1- (4-sulfofenil)-4-[4-sulfofenil-azo]-1H-pirazol-3-carboxilato, é um corante azoico utilizado para conferir a cor amarela a suplementos alimentares e vários tipos de bebidas e alimentos, tais como sorvetes, bolos, balas e confeitos, salgadinhos de batata, refrigerantes, bebidas alcoólicas, chicletes, gelatina, dentre outros (BASTAKI et al., 2017).

A ligação azo e dois grupos sulfônicos formam um grupamento funcional ácido carboxílico, o que possibilita e garante boa solubilidade da tartrazina na água. Além disso, ela é considerada estável à luz e variações de pH, oxigênio, e os custos de sua produção são baixos (CÂMARA, 2017).

Estudos de Prado e Godoy (2003) apontam que a tartrazina apresenta excelente estabilidade à luz, calor, ácido, e se descolore em presença de ácido ascórbico e dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>).

No entanto, a tartrazina tem despertado uma maior atenção dos toxicologistas e alergistas, sendo apontada como a responsável por várias reações adversas, causando desde a urticária até a asma. Estima-se que uma em cada 10 mil pessoas apresentem reações a esse corante. Provavelmente, de 8 a 20% dos consumidores sensíveis à aspirina são também

sensíveis a tartrazina. Entretanto, é um dos corantes mais empregados em alimentos e é permitido em muitos países, como Canadá, Estados Unidos e União Europeia (PRADO; GODOY, 2003).

#### **2.4.2 Azul brilhante**

O Azul Brilhante de Remazol R (RBBR) pertence à classe dos corantes antraquinônicos e representa um importante organopoluente tóxico e recalcitrante. É um composto derivado do antraceno que apresenta elevada toxicidade por conta do comportamento químico similar aos compostos que pertencem à família de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA), que são difíceis de serem metabolizados (MECHICHI; MHIRI; SAYADI, 2006; OSMA; TOCA-HERRERA; RODRÍGUEZ-COUTO, 2010; HADIBARATA; KRISTANTI, 2012). Além disso, o RBBR é utilizado como molécula modelo para isolamento de espécies degradadoras de poluentes, uma vez que permite selecionar micro-organismos produtores de enzimas envolvidas na hidrólise da lignina (SILVA et al., 2017).

Azul brilhante (também denominado azul brilhante FCF, azul FD&C 1 ou C.I.42090) possui fórmula molecular  $C_{37}H_{34}N_2Na_2O_9S_2$ , massa molar de 792,84 g/mol. É classificado como trifenilmetano, com máximo de absorção entre 626 e 630 nm. No Brasil é utilizado como corante de produtos alimentícios e têxteis (SÁ, 2013).

Esse corante possui concentração mínima da cor relativa a 85%, ou seja, seu percentual de pureza sendo pouco estável a variações de pH acima de 7. Sua estabilidade ao calor, luz e oxigênio é considerada moderada. O corante azul brilhante é comumente utilizado em gelatinas, balas, queijos, recheios, licores, refrescos, doces, azeites, gorduras e produtos à base de cereais, dentre outros (MASCARENHAS, 1998).

É sintetizado a partir da tinta do alcatrão de carvão e pode provocar reações anafiláticas em pessoas sensíveis às purinas. Há registros também de causas de hiperatividade em crianças, eczema, inchaço, dificuldade para respirar, erupções e asma (SOUZA, 2012).

#### **2.5 Coco de babaçu**

Proveniente de uma palmeira nativa da região norte do Brasil, o coco de babaçu vem sendo utilizado como um recurso renovável na geração de produtos químicos. O carvão ativado obtido a partir do endocarpo do coco de babaçu é uma matéria-prima importante que possibilita tecnicamente a obtenção de elevados índices de ativação. O carvão ativado ecológico, com

grande área superficial de adsorção (700 a 1.200 m<sup>2</sup>/g), é constituído essencialmente de microporos e mesoporos, mantendo – após o processo de ativação – uma elevada dureza e um excelente índice de resistência à abrasão. Por isso, é utilizado em meios dinâmicos de tratamento de água nos filtros descoloradores industriais (TOBASA, [s.d.]).

Nos últimos anos, o nordeste do Brasil tem sido responsável pelo aumento da produção de nozes de babaçu, correspondendo a quase toda a produção brasileira. O estado do Maranhão é o maior produtor dessa região e, conseqüentemente, do Brasil, responsável por 94% da produção nacional (PROTÁSIO et al., 2014).

Segundo Dias et al. (2012), a produção doméstica de resíduos de noz de babaçu (casca) é de 1,409 milhão de toneladas. Teixeira (2008) estimou um potencial brasileiro superior a seis milhões de toneladas de resíduos, no qual o estado do Maranhão tem o maior potencial (92%).

Ao investigar a qualidade do carvão do resíduo de noz de babaçu para a utilização da indústria siderúrgica na carbonização final de suas usinas de temperatura, Protásio et al. (2014) concluíram que a casca de noz de babaçu de carvão apresentou altos valores de densidade aparente e densidade de energia, possui propriedades químicas e energéticas adequadas para uso industrial e pode ser considerada uma possível substituição do carvão e do carvão de madeira na indústria siderúrgica.

Conforme o último censo, havia uma produção de 54 mil toneladas de amêndoas na microrregião do Médio Mearim, estado do Maranhão, gerando um valor de cerca de R\$ 36 milhões. Dados mais recentes do IBGE, incluídos na Produção da Extração Vegetal e Silvicultura (PEVS), indicaram que nos 18 municípios do Médio Mearim a produção de amêndoas alcançou, em 2016, cerca de 20 mil toneladas, e um valor de R\$ 33 milhões. Vale lembrar, contudo, que os dados da PEVS são estimativas obtidas junto a informantes vinculados às respectivas cadeias produtivas (PORRO, 2019).

### **2.5.1 Produtos fabricados a partir do coco**

O coco é um fruto de grande importância socioeconômica, pois é utilizado como matéria-prima em vários ramos industriais (agroindústrias, têxteis, cosméticos), além de ser um alimento de grande valor nutricional (SCHECHTER; AMARAL; THIENGO, 2013).

Esse fruto é bastante aproveitado, uma vez que a camada externa serve para fabricar substrato agrícola, capachos, brochas, escovas, estofamentos e tecidos grossos para sacos. A casca dura é usada no artesanato e como fonte de energia térmica (combustível para caldeiras) (PORTAL SÃO FRANCISCO, 2016).

Santiago e Sevan (2007) inferem que o coco pode ser aproveitado para utensílios estruturais como vasos, mobiliários, cascos de embarcações, carga para concretagem, dentre outros, como matéria-prima agregada para a indústria química, farmacêutica e alimentícia e, ainda, como substrato para a agricultura.

Suas fibras ainda servem na fabricação de vestuário, tapetes, sacaria, almofadas, colchões, acolchoados para a indústria automobilística, escovas, pincéis, capachos, passadeiras, tapetes, cordas marítimas, cortiça isolante e cama de animais (MARTINS; WATANABE; SILVA, 2013).

Van Dam et al. (2004), citados por Silva (2014), ainda citam que o pó resultante da extração das fibras pode ser usado para fabricação de linhas para pescaria, solados de sapatos, cascos de barcos, ou podem ainda ser queimados e retornar ao coqueiral em forma de cinzas.

Conforme Silva (2014), a casca do coco descartada pode ser aproveitada como fonte de energia, sendo queimada para a produção de carvão, carvão desodorizante e carvão ativado, sendo o carvão à base de coco tema desse estudo.

Para Paz et al. (2017, p. 3), "O uso da biomassa na produção de carvão ativado confere uma agregação de valor e formação de renda para a comunidade onde se descarta esses produtos o que também contribui para a diminuição de impactos à natureza."

Conforme Alves et al. (2016), o carvão ativado tem grande poder de purificação. Porém, grande parte das cascas do coco verde são deixadas nas praias e recolhidas para lixões. Assim, houve a estratégia de desenvolver novos produtos a partir da casca, pois, além de ser a atitude ambientalmente correta, atende também ao tripé da sustentabilidade.

O carvão ativado (CA) se apresenta como uma das melhores alternativas para a remoção de compostos orgânicos e inorgânicos presentes nas águas de abastecimento público devido a seu alto poder de adsorção (ALVES et al., 2016).

Teixeira, Bones e Alves (2018, p. 4) afirmam que:

O carvão ativado (CA) é uma substância carbonácea inerte, obtido geralmente de substâncias com alto teor de carbono, como osso, casca de coco, sementes e casca de frutas, madeira, carvão mineral e polímeros sintéticos.

Esse tipo de carvão é uma forma de carbono de grande porosidade que contém micro poros que adsorvem moléculas sem modificar a composição química do produto tratado, sendo inerte, de forma que os usos mais comuns para esse material são a adsorção de gases (na forma de filtros) e no tratamento de águas (TEIXEIRA; BONES; ALVES, 2018).

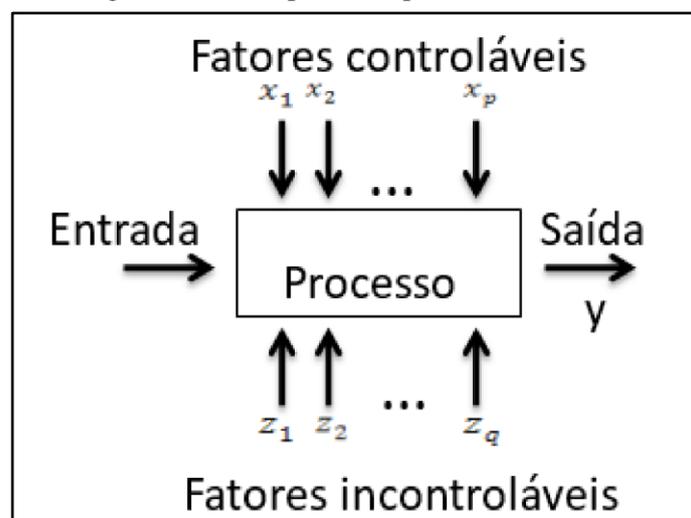
O carvão produzido a partir do coco, conforme Nóbrega (2017), é muito utilizado em países desenvolvidos, nos quais é comum assar as cascas de coco reduzindo-as a carvão,

removendo, assim, os componentes que retardam a combustão, como água e alcatrão, e queimando os gases hidrogênio e metano, altamente combustíveis. O processo resulta num carvão com alto teor de carbono que queima de maneira uniforme e produz uma quantidade de calor maior que a matéria-prima original. Nesse processo é utilizado um tambor especial que remove a umidade das cascas, mas não as transformam em cinzas.

## 2.6 Planejamento de experimentos

Os experimentos são técnicas que podem ser utilizadas para analisar o desempenho de processos e sistemas, representado pela Figura 1. Esse processo normalmente pode ser visto como uma combinação de operações, máquinas, métodos, pessoas e outros recursos que modificam uma entrada em uma saída que possua variáveis de resposta observáveis. As variáveis  $x_1, x_2, \dots, x_p$  do processo são controláveis, enquanto outras variáveis  $z_1, z_2, \dots, z_q$  são incontroláveis. Os experimentos possuem a capacidade de reduzir tempo e gastos desnecessários a partir de matrizes previamente construídas de acordo com o método utilizado e, principalmente, quantidade de fatores analisados em relação à determinada resposta (MONTGOMERY, 2012).

Figura 1 - Desempenho de processos e sistemas.



Fonte: Montgomery (2012).

Alguns conceitos e termos fundamentais para a aplicação das técnicas de planejamento e análise de experimentos industriais são apresentados por Werkema e Aguiar (1996).

Tais conceitos estão descritos a seguir.

a) Variáveis de resposta: são as variáveis dependentes que sofrem algum efeito nos testes, quando estímulos são introduzidos propositalmente nos fatores que regulam ou ajustam os processos de fabricação. Nos experimentos, podem existir uma ou mais variáveis de resposta (y) que são importantes de se avaliar.

b) Fatores de Controle: estes são os fatores alterados deliberadamente no experimento. O objetivo principal de introduzir estímulos, os fatores de controle, é avaliar o efeito produzido nas variáveis de resposta e, com isso, determinar os principais fatores do processo.

c) Fatores de Ruído: são os fatores, conhecidos ou não, que influenciam nas variáveis de resposta do experimento. Cuidados especiais devem ser tomados na hora de realizar os testes com esses fatores, pois é importante evitar que os efeitos produzidos pelos fatores de controle fiquem misturados ou mascarados com os efeitos provocados pelos fatores de ruído.

d) Níveis dos fatores: são as condições de operação dos fatores de controle investigados nos experimentos. Os níveis são identificados por nível baixo (-1) e nível alto (+1).

e) Tratamentos: é a combinação dos níveis de fatores de controle. Isto significa que cada uma das corridas do experimento representará um tratamento.

f) Efeito principal: é a diferença média observada na resposta quando se muda o nível do fator de controle investigado.

g) Efeito de interação: é a metade da diferença entre os efeitos principais de um fator nos níveis de outro fator.

h) Matriz de experimentos: é o plano formal construído para conduzir os experimentos. Nesta matriz são incluídos os fatores de controle, os níveis e tratamentos do experimento.

i) Aleatorização: é o processo de definir a ordem dos tratamentos da matriz experimental, através de sorteios ou por limitações específicas dos testes. Esse conceito também se refere ao processo de alocação do material e equipamento nas diferentes condições de experimentação.

j) Repetição: é o processo de repetir cada uma das combinações (linhas) da matriz experimental sob as mesmas condições de experimentação. Segundo Montgomery (1991), este conceito encontra uma estimativa do erro experimental que é utilizado para determinar se as diferenças observadas entre os dados são estatisticamente significativas.

k) Blocos: é a técnica utilizada para controlar e avaliar a variabilidade produzida pelos fatores perturbadores (controláveis ou não-controláveis) dos experimentos. Com esta técnica

procura-se criar um experimento (grupo ou unidades experimentais balanceadas) mais homogêneo e aumentar a precisão das respostas que são analisadas.

Grande parte das propostas experimentais em pesquisas pode ser melhorada a partir de métodos para construção de modelos, visando sempre a melhor compreensão do processo (SHAYKHI; ZINATIZADEH, 2014; SUKRITI et al., 2017). O planejamento de experimentos é uma técnica que permite a construção destes modelos a partir da análise estatística avançada (MONTGOMERY, 2012). As variáveis de um processo e suas interações podem ou não ter influência sobre as “respostas” a serem analisadas. O planejamento de experimento visa o estudo multivariado em detrimento da resposta almejada (SAHOO; PRATAP; BANDYOPADHYAY, 2017).

O planejamento de experimentos é constituído de matrizes experimentais que representam condições individuais referentes às condições específicas de cada um dos fatores testados durante a experimentação (SUKRITI et al., 2017). Ao se estudar as variáveis com pelo menos dois níveis é possível identificar os seus efeitos sobre as respostas de interesse (BARROS NETO; SCARMINIO; BRUNS, 2010).

Dentro dessa classe de projeto de experimentos existem alguns métodos que podem ser selecionados de acordo com a capacidade de análise. Os planejamentos fatoriais completos e fracionários são usados para determinar as variáveis que são mais significativas e que influenciam direta ou indiretamente a resposta final (RASOOL et al., 2016). Vale ressaltar que esses métodos são responsáveis principalmente para a verificação da região experimental analisada, não constituindo, assim, um modelo passível de otimização (SHAKER; YAKOUT, 2016).

A análise fatorial é capaz de descrever em alguns fatores reais, mas não observáveis, relações de covariância entre as variáveis e também pode ser considerada uma técnica estatística multivariada. Ao considerar que estas variáveis podem se agrupar através das suas correlações, todas as que fizerem parte de um grupo específico terão uma alta correlação entre si, porém possuirão correlações muito baixas com variáveis pertencentes a outros grupos (JOHNSON; WICHERN, 2007).

Partindo para a construção de modelos mais arrojados e fidedignos, a metodologia de superfície de resposta é o conjunto de métodos de planejamento de experimentos mais robustos que os fatoriais (LEE; ABDUL HAMID; LAI, 2015). Os modelos gerados a partir deste método podem ser otimizados e validados com uma elevada confiabilidade de resposta.

Para se utilizar um modelo de superfície de resposta é preciso que a região de análise seja quadrática, ou seja, observe-se a presença de curvatura. Essa curvatura pode ser encontrada

por meio da análise do teste de hipótese, podendo ser configurada em função da distância entre o ponto central do arranjo e a linha diagonal que liga os vértices do cubo em um modelo fatorial completo ou fracionado. Ela é encontrada quando o ponto não pertence à reta diagonal, ou seja, p-valor menor que o nível de significância igual a 0,05 (NAVES, 2017).

O p-valor é um dado estatístico muito usado para analisar o resultado de um teste de hipóteses, que é definido como a probabilidade de se obter uma estatística de teste igual ou mais extremo quanto àquela observada em uma amostra, assumindo verdadeira a hipótese nula (ZHANG; GUO; ZHOU, 2017). O teste de hipótese também é necessário para determinação da significância dos fatores e suas interações (NAVES, 2017).

Quando se realiza o teste de hipóteses é necessário decidir rejeitar ou não a hipótese nula; além disso, é possível que essa decisão não esteja correta, com dois erros possíveis de ocorrer em um teste de hipóteses: erro tipo I e o erro tipo II. O erro tipo I é representado ao se rejeitar  $H_0$  quando  $H_0$  é realmente verdadeira, e o erro de não rejeitar  $H_0$  sendo que  $H_0$  é falsa é chamado de erro tipo II. O nível de significância do teste é a possibilidade de rejeitar  $H_0$  dado que  $H_0$  é verdadeira (CERQUEIRA, 2014).

Os tipos de modelos mais utilizados no Planejamento de Experimentos, sigla DOE do inglês *Design of Experiments*, são o planejamento fatorial completo, planejamento fatorial fracionado, os arranjos de Taguchi, a metodologia de superfície de resposta e os experimentos com misturas. O fatorial completo é adotado quando se deseja analisar alguns fatores (sendo ideal até quatro fatores) e níveis e também determinar as interações e os efeitos principais (MYERS; MONTGOMERY; ANDERSON-COOK, 2013).

O método de fatorial fracionado é indicado quando o problema possibilita a análise de cinco fatores ou mais. Esse método se torna ideal à situação citada pois o arranjo trabalha sempre com meia fração, possibilitando que seja executada apenas a metade dos experimentos que seriam realizados em um planejamento fatorial completo (GHAFOORI; MEHRVAR; CHAN, 2014; MOHAJERANI; MEHRVAR; EIN-MOZAFFARI, 2012).

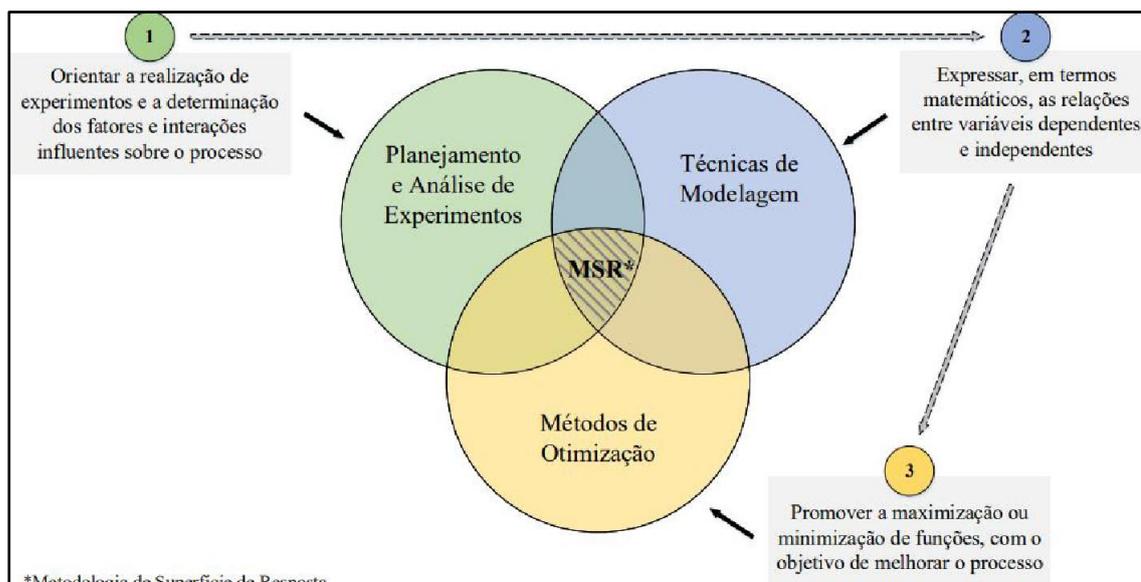
Uma outra maneira de analisar vários fatores, ao mesmo tempo possibilitando a construção de modelos, seria a metodologia de superfície de resposta. Ela permite a diferenciação de todos os efeitos principais, onde são observados os comportamentos de cada um para uma possível comparação, permitindo fazer uma análise das suas interações referentes aos fatores de entrada, além de construir modelos de segunda ordem (IQBAL et al., 2016).

Sendo assim, pode-se notar que os métodos de otimização são apresentados como ferramenta de auxílio para a obtenção dos melhores cenários, sendo utilizados com apoio das técnicas de modelagem a fim de obter mais informações sobre as regiões de interesse. Por meio

desses métodos é possível identificar quais os pontos que influenciam mais o processo e possibilitam a melhora dos sistemas industriais, permitindo a redução de custos operacionais, o aumento da qualidade dos produtos ou a minimização do tempo de processo (COSTA et al., 2016; PAIVA; FERREIRA; BALESTRASSI, 2007).

A metodologia de superfície de resposta (MSR) é caracterizada pela interseção entre o planejamento e análise de experimentos, as técnicas de modelagem e os métodos de otimização. A Figura 2 mostra os componentes que compõem a MSR, assim como uma descrição resumida de seus objetivos. Além disso, pode-se perceber também, através das setas, uma sequência geral de execução com o objetivo de organizar as ideias e os passos a serem seguidos (OLIVEIRA, 2018).

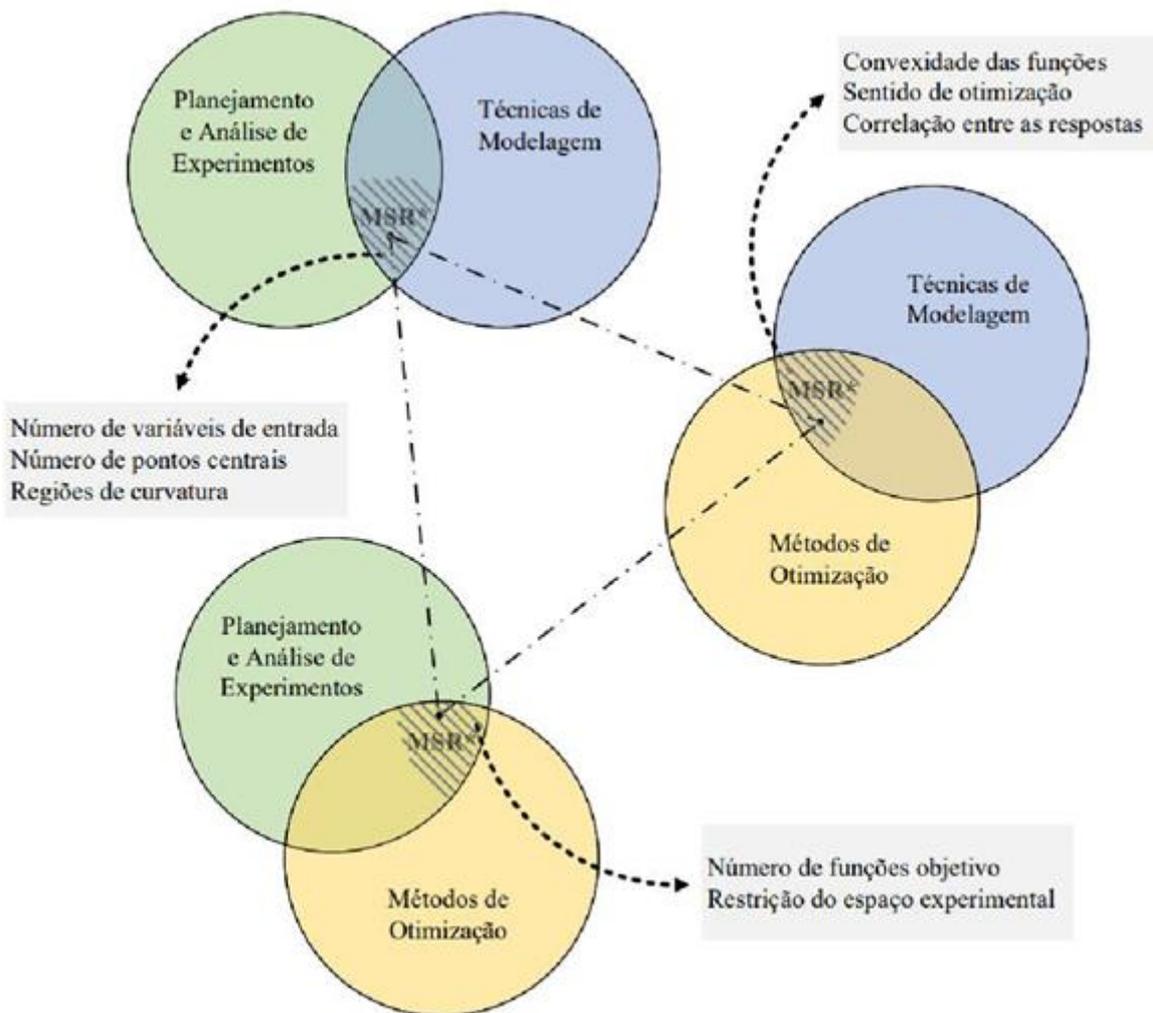
Figura 2 - Componentes técnicos da Metodologia de Superfície de Resposta (MSR), consequência geral de execução e descrição resumida de seus objetivos.



Fonte: Oliveira (2018).

Quando se deseja realizar uma superfície de resposta, espera-se que os objetivos já estejam definidos, porém muitos critérios intermediários que podem ser ilustrados como interseções parciais do método passam a ser de difícil compreensão. A Figura 3 mostra as interseções entre os métodos e os objetivos alcançados de acordo com cada interseção. Por exemplo, entre o planejamento e análise de experimentos e as técnicas de modelagem é possível analisar três fatores – três dentre as técnicas de modelagem e os métodos de otimização e dois dentre os métodos de otimização e o planejamento e análise de experimentos (OLIVEIRA, 2018).

Figura 3 - Visão detalhada das interseções entre os componentes técnicos e os aspectos críticos da Metodologia de Superfície de Resposta (MSR).



Fonte: Oliveira (2018)

## 2.7 Análise fatorial no processo de tratamento de resíduos líquidos

Conforme Osborne (2015) e Rencher (2012), a análise fatorial constitui-se de uma técnica estatística multivariada capaz de descrever várias respostas em grupos estruturados e não correlacionados, mesmo que não sejam percebidas. Afirmam que a análise fatorial interpreta os dados mais significativos dos grupos de dados.

“Inúmeras formas de tratamento de resíduos líquidos têm sido utilizadas atualmente na indústria de forma a obter a satisfatória redução da carga orgânica, cor dentre outros compostos persistentes presentes no meio” (NAVES, 2017, p. 64).

Já Costa et al. (2016) afirmam que uma das maiores dificuldades no tratamento de compostos do tipo azo, utilizando tratamentos convencionais como os biológicos, é que embora sejam mais econômicos ainda não possuem potencial de destruição efetivo destes compostos.

No meio industrial, são comuns tratamentos com processos de adsorção usando-se adsorventes, dentre eles o carvão ativado (NAVES, 2017, p. 64).

## 2.8 Adsorção

O processo de adsorção ocorre quando uma substância tem a tendência de se acumular sobre a superfície da outra. As moléculas do fluido encontram a superfície do material adsorvente e podem se fixar em sua superfície. A adsorção entre líquidos ou gases em uma superfície sólida é denominada adsorbato. Já a fase que adsorve na superfície do sólido e a superfície sólida é denominada adsorvente. Em determinadas condições, as moléculas podem deixar a superfície do adsorvente, ocorrendo, desta forma, o processo de dessorção (ATKINS, 1999; SMÍSEK; CERNÝ, 1970).

A adsorção é considerada um meio altamente viável, principalmente pela diversidade de materiais que apresentam essas características e pelas modificações que podem ser feitas em suas superfícies por diferentes métodos físicos e químicos. O processo de adsorção é caracterizado como um processo de transferência e pode ser dividido basicamente como fisissorção e quimissorção (PRADO, 2010; OLIVEIRA, 2013; OLIVEIRA, 2014).

Na fisissorção as forças são as mesmas que as responsáveis pela condensação de vapores e desvios a partir do comportamento do gás ideal. A adsorção ainda é caracterizada por uma baixa interação entre o fluido e o sólido, e é empregada nos processos de separação de compostos de misturas, uma vez que é um processo rápido e que pode ser reversível (OLIVEIRA, 2013; SCHMITT, 2013).

Já na adsorção química, ou quimissorção, há uma retenção do soluto na superfície do sólido, que ocorre diante da formação de uma ligação química efetiva, iônica ou covalente, entre os sítios ativos do adsorvente e os componentes do soluto. Isso acarreta numa fixação mais forte do soluto no adsorvente, onde firma-se a adsorção irreversível (OLIVEIRA, 2013; SCHMITT, 2013).

A adsorção de corantes em adsorventes porosos pode envolver as seguintes etapas: difusão das moléculas de corante da solução para a superfície externa dos adsorventes (camada limite); adsorção das moléculas do corante na superfície externa da partícula através de interações moleculares; difusão das moléculas do corante da superfície externa para o interior da partícula (difusão efetiva) e adsorção no interior da partícula (SÁ; NUNES; BORGES, 2016).

Após a escolha do adsorvente, a próxima etapa para elucidar o processo de adsorção é o estudo de equilíbrio. Os dados de equilíbrio descrevem como os corantes interagem com o material adsorvente, sendo críticos para a otimização do uso de adsorventes (CRINI; BADOT, 2008).

A adsorção se destaca por se tratar de um processo simples, flexível, fácil de ser realizado, além de não produzir produtos perigosos. Como adsorvente o carvão se destaca em razão da sua alta capacidade de remoção e cinética rápida, porém seu custo é elevado (CRINI, 2006). No entanto, estudos como os de Rangabhashiyam et al. (2014) e Salleh et al. (2011) revelaram diversos outros materiais que podem ser usados para essa mesma função com custo bem mais reduzido.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado nas dependências do laboratório de química do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Sul de Minas, campus de Pouso Alegre, Minas Gerais. Foram utilizados os corantes amarelos tartrazina e azul brilhante, com percentuais de pureza que se encontram em 87,61 e 92,81% respectivamente, doados por uma empresa do segmento alimentício da cidade de Pouso Alegre - MG.

No experimento foi utilizado o carvão ativado granulado Biocarbon CS 8 x 30, produzido através do processo de ativação física em sistema contínuo e controlado. Este carvão é obtido através do endocarpo do coco de babaçu, contendo uma vasta rede de micro e média porosidades, cujas especificações foram fornecidas de acordo com o fabricante, conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Especificações do carvão.

	<b>Especificações</b>
Aspecto	Granulado
Número de Iodo	Min. 800 mg I <sub>2</sub> / g CA
Densidade aparente	0,40 a 0,55 g / cm <sup>3</sup>
Teor de umidade (ao embalar)	Máx. 10%
Granulometria	6 x 12; 8 x 16; 8 x 30; 12 x 25; 20 x 50; 40 x 80
PH	8,0 a 10

Fonte: Tobasa Industrial de Babaçu S.A (2019).

#### 3.1 Preparo do carvão

Para a realização do experimento, foram recebidas as amostras do carvão Biocarbon CS 8 x 30 doadas pela empresa Tobasa Bioindustrial de Babaçu, S. A., localizada em Tocantinópolis – TO.

O carvão foi macerado e separado em peneiras granulométricas, onde foram utilizadas as amostras compreendidas entre de 75 e 150  $\mu\text{m}$ .

Após a separação das amostras na granulometria desejada, estas foram lavadas em água destilada e submetidas a secagem em estufa à temperatura de 105°C até a completa secagem. Foi realizada uma análise termogravimétrica, identificando que o carvão se encontrava com umidade de 7%.

### 3.2 Preparo das soluções

Foram preparadas soluções contendo os corantes artificiais (amarelo tartrazina e azul brilhante) em concentrações de 43,81 e 219,03 ppm para o amarelo tartrazina e 46,41 e 232,03 ppm para o corante azul. Já o pH foi ajustado em 5,0 e 8,0 para ambos em função do pH de efluentes industriais encontrarem-se na faixa de pH 4 e 5. Para as soluções ácidas foram utilizadas solução de ácido clorídrico (HCl) e para soluções básicas foi usado hidróxido de sódio (NaOH).

### 3.3 Preparo do experimento

As massas de adsorvente foram pesadas e adicionadas aos *erlenmeyers* e, logo após, foi adicionada uma alíquota de 50 mL das soluções em concentrações de 43,81 e 219,03 ppm para o amarelo tartrazina e 46,41 e 232,03 ppm para o corante azul, contendo os corantes sintéticos (amarelo tartrazina e azul brilhante). Foi utilizado um filme de policloreto de vinila (PVC) para cobrir a borda dos *erlernmeyers* para evitar a perda de massa por evaporação.

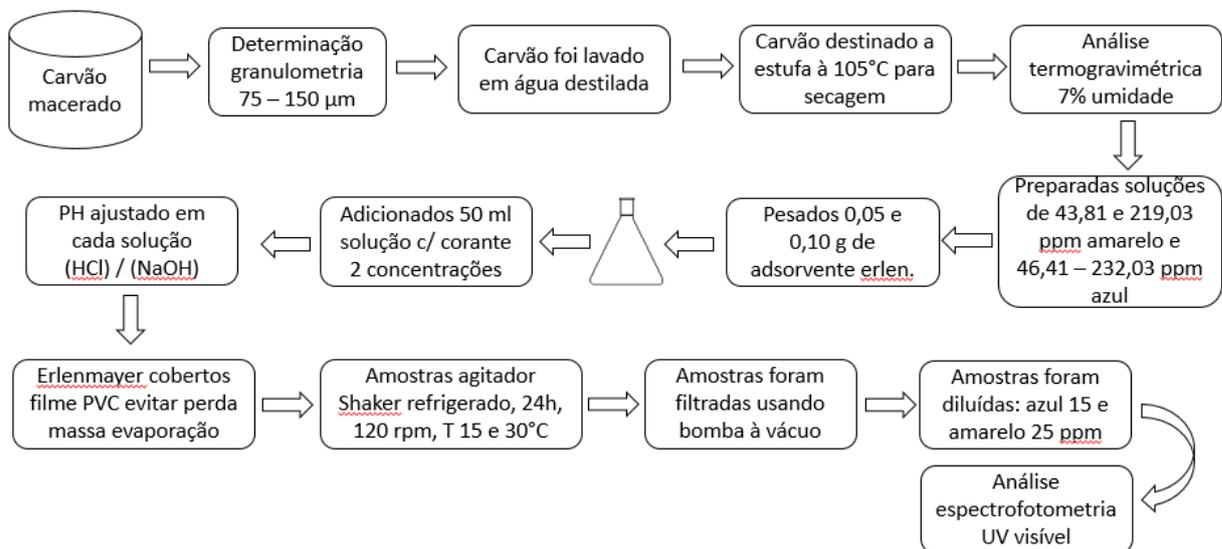
As amostras foram encaminhadas a um agitador Shaker refrigerado, mantidas sob agitação a 120 rpm por um período de 24 horas em temperatura controlada para atingir o equilíbrio. As temperaturas estudadas foram a 15 e 30°C para este experimento, haja visto que os efluentes industriais normalmente encontram-se nesta faixa de temperatura.

Após o equilíbrio, foram retiradas as amostras, que foram filtradas utilizando-se um filtro com uma bomba a vácuo.

Em seguida, as soluções foram diluídas até se obter a concentração desejada, ou seja, para a solução contendo corante azul o limite máximo foi de 15 ppm, e para a solução com o

corante amarelo o limite máximo foi de 25 ppm para que o filtrado se mantivesse dentro da faixa de absorvância compreendida entre 0,1 e 1,0 para se manter dentro da faixa da curva analítica, como mostra a Figura 4.

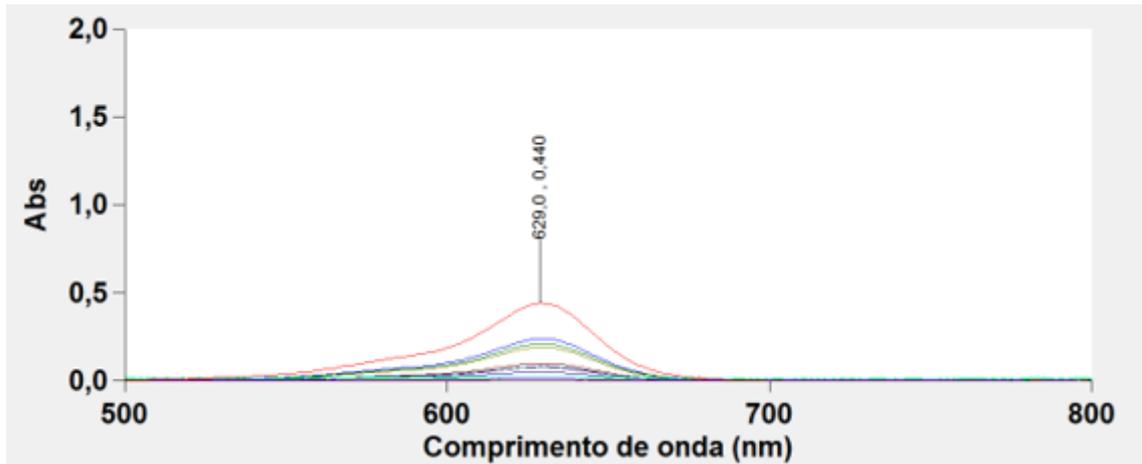
Figura 4 – Fluxo do preparo do experimento.



Fonte: Do autor (2019).

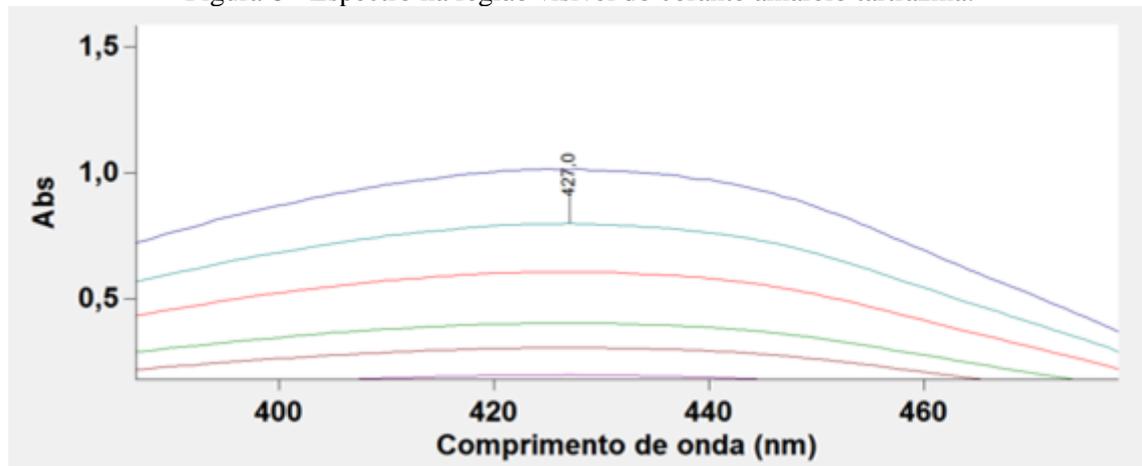
Após a diluição, foi realizada uma análise por espectrofotometria ultravioleta (UV) na região do visível, cujos comprimentos de onda foram de 600 – 350 nm para o corante amarelo e 800 – 500 nm para o corante azul, para a determinação da quantidade de corante adsorvido por massa de adsorvente, conforme Figuras 5 e 6.

Figura 5 - Espectro na região visível do corante azul brilhante.



Fonte: Do autor (2019).

Figura 6 - Espectro na região visível do corante amarelo tartrazina.



Fonte: Do autor (2019).

### 3.4 Análise experimental

Toda a modulação do experimento foi realizada segundo planejamento experimental, primeiramente utilizando um planejamento fatorial completo, a fim de verificar a curvatura do modelo que reflete a possibilidade de aplicação de uma posterior análise a partir de metodologia de superfície de resposta.

Utilizou-se uma combinação de 4 fatores e 2 níveis, sendo  $2^k = 2^4 = 16$  experimentos, na qual foram definidos os valores mínimos e máximos, onde o ponto médio foi realizado em duplicata, totalizando 18 experimentos, conforme Tabela 3.

As variáveis consideradas para o planejamento experimental foram: concentração de corante, massa de adsorvente, temperatura e pH. A resposta esperada é a maior extração de corantes que é expressa pela razão entre massa adsorvida e massa total de corante.

Tabela 3 - Delineamento experimental - corante amarelo.

<b>Planejamento de experimentos - corante amarelo</b>							
<b>OrdemPad</b>	<b>OrdemEns</b>	<b>PtCentral</b>	<b>Blocos</b>	<b>Concentração (ppm)</b>	<b>Adsorvente (g)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>pH</b>
1	1	1	1	43,81	0,050	15,0	5,0
2	2	1	1	219,03	0,050	15,0	5,0
3	3	1	1	43,81	0,100	15,0	5,0
4	4	1	1	219,03	0,100	15,0	5,0
5	5	1	1	43,81	0,050	30,0	5,0
6	6	1	1	219,03	0,050	30,0	5,0
7	7	1	1	43,81	0,100	30,0	5,0
8	8	1	1	219,03	0,100	30,0	5,0
9	9	1	1	43,81	0,050	15,0	8,0
10	10	1	1	219,03	0,050	15,0	8,0
11	11	1	1	43,81	0,100	15,0	8,0
12	12	1	1	219,03	0,100	15,0	8,0
13	13	1	1	43,81	0,050	30,0	8,0
14	14	1	1	219,03	0,050	30,0	8,0
15	15	1	1	43,81	0,100	30,0	8,0
16	16	1	1	219,03	0,100	30,0	8,0
17	17	0	1	131,42	0,075	22,5	6,5
18	18	0	1	131,42	0,075	22,5	6,5

Fonte: Do autor (2019).

Os mesmos parâmetros foram seguidos para o corante azul (Tabela 4).

Tabela 4 - Delineamento experimental - corante azul.

<b>Planejamento de experimentos - corante azul</b>							
<b>OrdemPad</b>	<b>OrdemEns</b>	<b>PtCentral</b>	<b>Blocos</b>	<b>Concentração (ppm)</b>	<b>Adsorvente (g)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>pH</b>
1	1	1	1	46,41	0,050	15,0	5,0
2	2	1	1	232,03	0,050	15,0	5,0
3	3	1	1	46,41	0,100	15,0	5,0
4	4	1	1	232,03	0,100	15,0	5,0
5	5	1	1	46,41	0,050	30,0	5,0
6	6	1	1	232,03	0,050	30,0	5,0
7	7	1	1	46,41	0,100	30,0	5,0
8	8	1	1	232,03	0,100	30,0	5,0
9	9	1	1	46,41	0,050	15,0	8,0
10	10	1	1	232,03	0,050	15,0	8,0
11	11	1	1	46,41	0,100	15,0	8,0
12	12	1	1	232,03	0,100	15,0	8,0
13	13	1	1	46,41	0,050	30,0	8,0
14	14	1	1	232,03	0,050	30,0	8,0
15	15	1	1	46,41	0,100	30,0	8,0
16	16	1	1	232,03	0,100	30,0	8,0
17	17	0	1	139,22	0,075	22,5	6,5
18	18	0	1	139,22	0,075	22,5	6,5

Fonte: Do autor (2019).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Avaliação do *design* experimental

Utilizou-se uma combinação de 4 fatores (concentração, adsorvente, temperatura e pH) e 2 níveis, sendo  $2^k = 2^4 = 16$  pontos fatoriais, além dos pontos médios em duplicata. Para o corante amarelo, os valores mínimo e máximo da concentração foram de 43,81 e 219,03 ppm. Já para o corante azul, esses mínimos e máximos da concentração foram de 46,41 e 232,06 ppm, respectivamente. Para massa de adsorvente, os valores estabelecidos de trabalho foram de 0,05 / 0,10 g; temperatura de 15 e 30°C e pH de 5,0 e 8,0 para ambos os corantes.

Para a realização do experimento foi necessário identificar o % de extração, conforme indicado na Tabela 5 (a, b).

Tabela 5 (a) - Valores encontrados para extração de corante amarelo.

Planejamento de experimentos - corante amarelo								
OrdemPad	OrdemEns	PtCentral	Blocos	Concentração (ppm)	Adsorvente (g)	Temperatura (°C)	pH	% Extração
1	1	1	1	43,81	0,050	15,0	5,0	70,5259
2	2	1	1	219,03	0,050	15,0	5,0	21,4962
3	3	1	1	43,81	0,100	15,0	5,0	94,3540
4	4	1	1	219,03	0,100	15,0	5,0	97,3262
5	5	1	1	43,81	0,050	30,0	5,0	80,4299
6	6	1	1	219,03	0,050	30,0	5,0	21,0901
7	7	1	1	43,81	0,100	30,0	5,0	99,5488
8	8	1	1	219,03	0,100	30,0	5,0	35,9615
9	9	1	1	43,81	0,050	15,0	8,0	83,2987
10	10	1	1	219,03	0,050	15,0	8,0	17,4188
11	11	1	1	43,81	0,100	15,0	8,0	100,0526
12	12	1	1	219,03	0,100	15,0	8,0	39,1900
13	13	1	1	43,81	0,050	30,0	8,0	73,3464
14	14	1	1	219,03	0,050	30,0	8,0	18,6161
15	15	1	1	43,81	0,100	30,0	8,0	101,6264
16	16	1	1	219,03	0,100	30,0	8,0	34,9432
17	17	0	1	131,42	0,075	22,5	6,5	77,8240
18	18	0	1	131,42	0,075	22,5	6,5	78,5395

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 5 (b) – Valores encontrados para extração de corante azul.

Planejamento de experimentos - corante azul								
OrdemPad	OrdemEns	PtCentral	Blocos	Concentração (ppm)	Adsorvente (g)	Temperatura (°C)	PH	% Extração
1	1	1	1	46,41	0,050	15,0	5,0	5,2876
2	2	1	1	232,03	0,050	15,0	5,0	3,7838
3	3	1	1	46,41	0,100	15,0	5,0	71,7098
4	4	1	1	232,03	0,100	15,0	5,0	15,7007
5	5	1	1	46,41	0,050	30,0	5,0	56,6513
6	6	1	1	232,03	0,050	30,0	5,0	8,0550
7	7	1	1	46,41	0,100	30,0	5,0	95,6655
8	8	1	1	232,03	0,100	30,0	5,0	19,6842
9	9	1	1	46,41	0,050	15,0	8,0	42,0748
10	10	1	1	232,03	0,050	15,0	8,0	-0,1274
11	11	1	1	46,41	0,100	15,0	8,0	77,9396
12	12	1	1	232,03	0,100	15,0	8,0	18,8349
13	13	1	1	46,41	0,050	30,0	8,0	48,3474
14	14	1	1	232,03	0,050	30,0	8,0	14,2658
15	15	1	1	46,41	0,100	30,0	8,0	90,9213
16	16	1	1	232,03	0,100	30,0	8,0	20,9700
17	17	0	1	139,22	0,075	22,5	6,5	15,1174
18	18	0	1	139,22	0,075	22,5	6,5	17,4319

Fonte: Do autor (2019).

#### 4.2 Resultados obtidos a partir do corante amarelo

A análise dos resultados experimentais nos forneceu percentuais de extração em cada experimento. Para o corante amarelo, foram obtidas taxas de extração mínima de 17,4188% e máxima de 101,6264%. O valor de extração acima de 100% pode ser explicado pela limitação da técnica analítica – dentro do seu limite de erro inerentes ao experimento, nos permite extrapolar valores acima, indicando que houve uma extração total do corante para valores acima de 100%.

A Tabela 6 apresenta a ANOVA do modelo, onde pode-se observar que os valores de P-Valor que se encontram inferiores a 0,05 representam os fatores significativos, que foram concentração e adsorvente.

Percebe-se um bom ajuste do experimento com valores de  $(R^2) = 92,13\%$ , entretanto, as interações entre pH e temperatura não são significativas.

Tabela 6 – ANOVA do corante amarelo.

Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
Modelo	11	15944,4	1449,5	6,38	0,017
Linear	4	14194	3548,5	15,62	0,003
Concentração	1	10875,4	10875,4	47,88	0,000
Adsorvente	1	2937,1	2937,1	12,93	0,011
Temperatura	1	211	211	0,93	0,372
PH	1	170,6	170,6	0,75	0,419
Quadrado	1	475,5	475,5	2,09	0,198
Concentração*Concentração	1	475,5	475,5	2,09	0,198
Interação com 2 Fatores	6	1274,8	212,5	0,94	0,531
Concentração*Adsorvente	1	104,1	104,1	0,46	0,524
Concentração*Temperatura	1	319,9	319,9	1,41	0,280
Concentração*PH	1	391,8	391,8	1,72	0,237
Adsorvente*Temperatura	1	221,9	221,9	0,98	0,361
Adsorvente*PH	1	159,5	159,5	0,70	0,434
Temperatura*PH	1	77,6	77,6	0,34	0,580
Erro	6	1362,7	227,1		
Falta de ajuste	5	1362,5	272,5	1064,56	0,023
Erro puro	1	0,3	0,3	*	*
Total	17	17307,1			

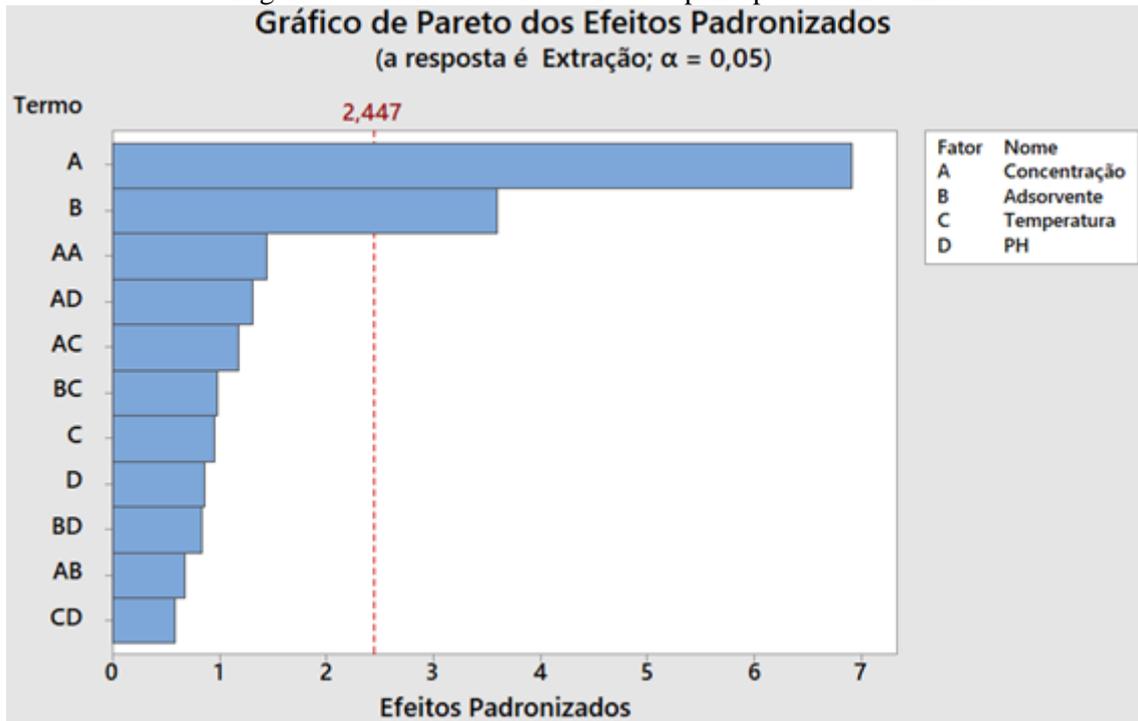
S = 15,0706      R2 = 92,13%      R2(aj)= 77,69%      R2 (pred) = 19,38%

Fonte: Do autor (2019).

Na Figura 7, observa-se que os fatores concentração e massa de adsorvente foram os mais pronunciados no experimento, pois encontram-se localizados à direita da linha tracejada, que indicam os maiores efeitos das variáveis estudadas. O aumento da quantidade de adsorvente demonstra um efeito significativo positivo, pois promove uma maior taxa de remoção devido ao fato de se ter um número maior de sítios ativos, conseqüentemente fazendo com que as moléculas de corante possam encontrar esses sítios e, assim, serem adsorvidas. A concentração demonstrou o efeito mais pronunciado, porém seu efeito ocorreu de forma negativa para o experimento porque valores mais altos na concentração fazem com se tenha um número maior de moléculas de corante para que possam ser adsorvidas pelos sítios ativos do adsorvente, promovendo um menor percentual de extração.

Já a temperatura e o pH, que se encontraram à esquerda da linha, demonstraram que estes fatores não apresentaram nível de significância para extração de corante.

Figura 7 - Gráfico de Pareto – fatores principais corante amarelo  
**Gráfico de Pareto dos Efeitos Padronizados**  
 (a resposta é Extração;  $\alpha = 0,05$ )



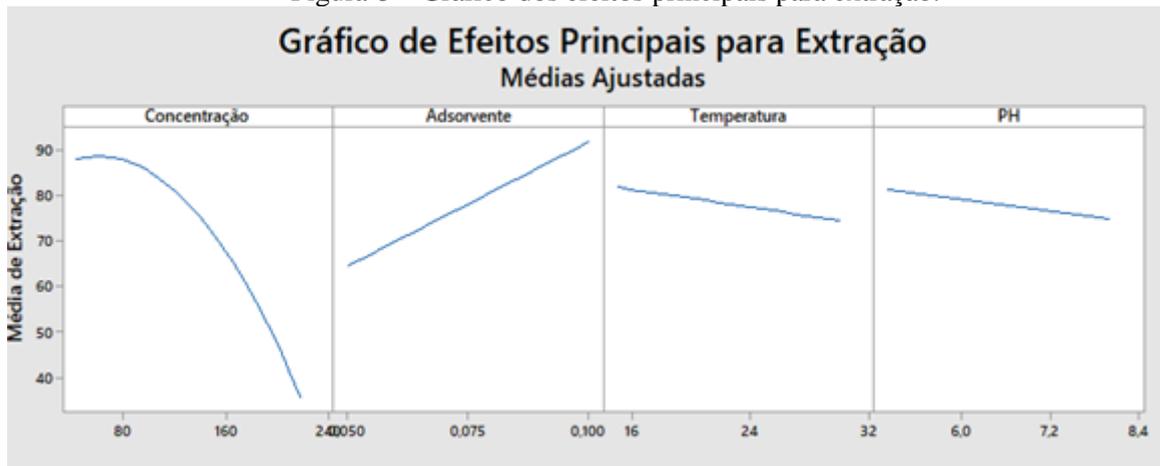
Fonte: Do autor (2019).

O gráfico dos efeitos principais para extração, como pode ser visto na Figura 8, corrobora com o gráfico de Pareto (Figura 7), demonstrando que os fatores concentração e massa de adsorvente foram os mais pronunciados no experimento. Ao analisarmos o comportamento individual de cada fator, observa-se que para concentração de 43,81 ppm temos uma extração próxima de 90% e que, à medida em que os valores de concentração chegam a 219,03 ppm, ou seja, aumentam, os índices de extração caem para abaixo de 20%. Esse comportamento observado na concentração está relacionado ao fato de que concentrações mais elevadas de corante nos levam à existência de maiores quantidades de moléculas de corante para ser adsorvido, provocando a saturação do adsorvente.

Já para a massa de adsorvente em quantidades de 0,050g temos uma extração em torno de 65% ao ponto que, na medida em que a massa de adsorvente é elevada para 0,100g, o índice de extração sobe para valores acima de 90%. Esse ganho em percentual de remoção ocorre em função do aumento do número de sítios ativos do adsorvente, contribuindo positivamente para remoção de corante.

Já o comportamento da temperatura, à medida em que a mesma é elevada, o percentual de extração é ligeiramente reduzido. O mesmo ocorre com o pH, ou seja, quando se eleva o pH é possível observar menores taxas de extração, mas seu impacto é pouco pronunciado, corroborando com os resultados do gráfico dos efeitos principais representados na Figura 8.

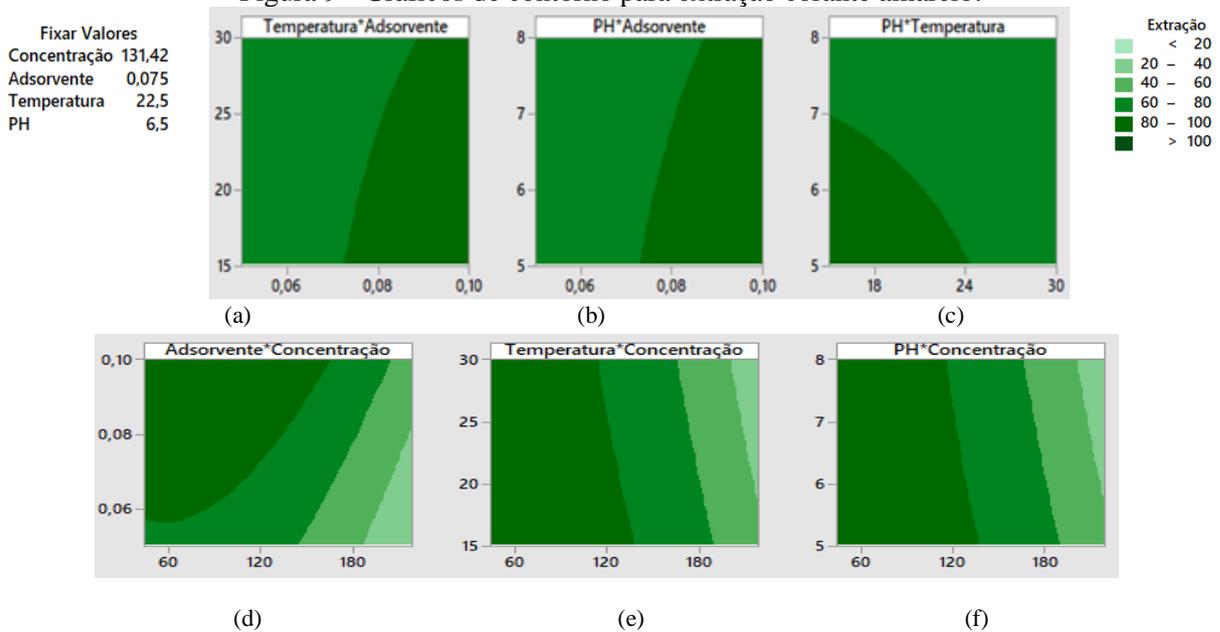
Figura 8 – Gráfico dos efeitos principais para extração.



Fonte: Do autor (2019).

Como se pode observar nos gráficos de contorno da Figura 9 (a), para os valores de concentração e adsorvente, e valores médios de temperatura e pH, os fatores não foram significativos. Entretanto, é necessário ressaltar que o parâmetro de interação entre essas variáveis não foi significativo, o que leva a interpretar que na realidade o que faz com que a extração seja maior para remoção de corante é a relação entre adsorvente e concentração. O mesmo pode ser observado com os demais gráficos. Porém, o gráfico de adsorvente x concentração chama a atenção. O mesmo será ampliado na Figura 10.

Figura 9 - Gráficos de contorno para extração corante amarelo.

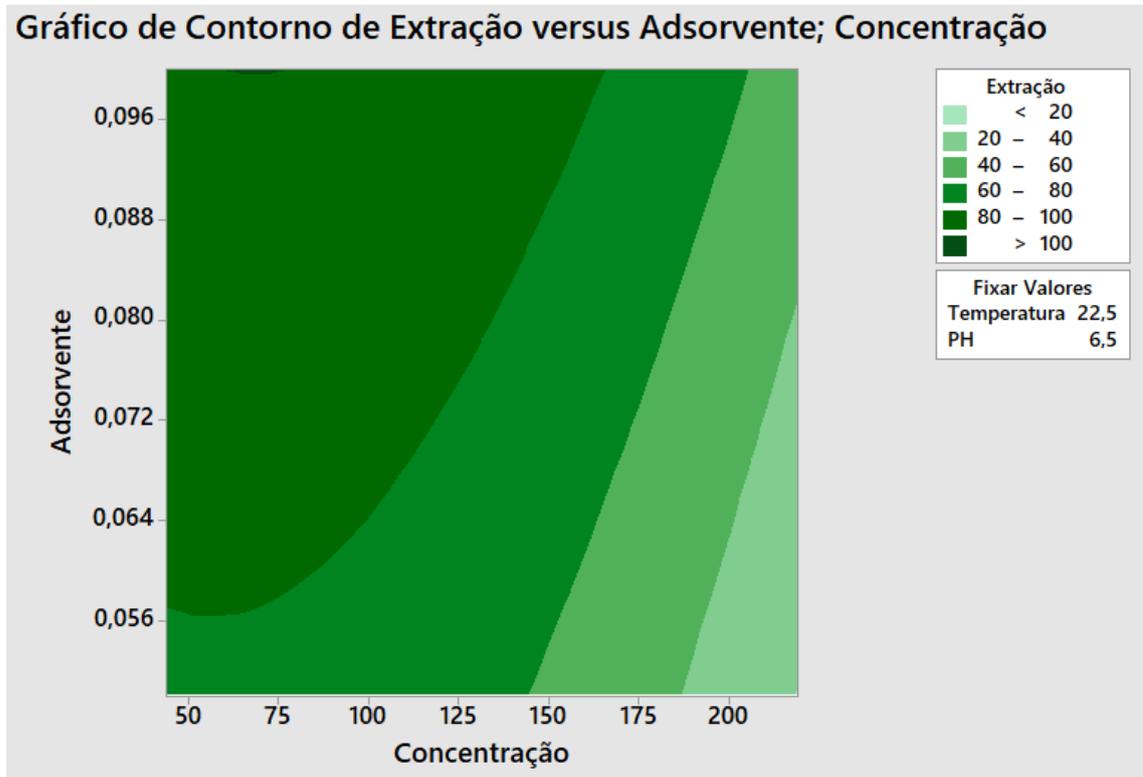


Fonte: Do autor (2019).

Nota-se claramente que, para a interação entre adsorvente x concentração para valores fixos de temperatura e pH, tem-se índices maiores de extração do corante amarelo na faixa de (80 – 100%), ou seja, no momento em que os valores de concentração são menores e massa de

adsorvente maior, que pode ser observado na ampliação da Figura 10, constatando, assim, que as variáveis massa de adsorvente e concentração foram as mais significativas, como pode ser visto no gráfico de Pareto na Figura 6.

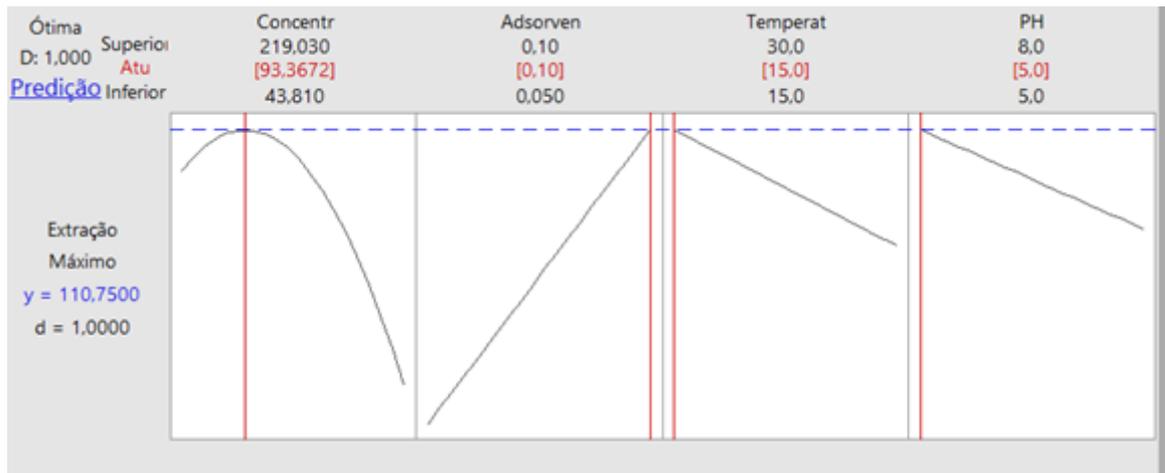
Figura 10 - Gráficos de contorno para extração corante amarelo ampliado.



Fonte: Do autor (2019).

O gráfico de otimização da Figura 11 mostra que para obter o máximo de extração os fatores concentração, massa de adsorvente, temperatura e pH precisariam estar nas faixas de 93,3672 ppm; 0,10 g; 15°C e 5,0, respectivamente. À medida em que se aumenta os níveis de concentração tem-se menor extração, logo, quando aumenta-se a quantidade de adsorvente, aumenta-se os níveis de extração. Os fatores temperatura e pH, apesar de contribuírem para diminuir a extração, quando tendem a aumentar, seus efeitos são pouco significativos.

Figura 11 - Gráfico de otimização



Fonte: Do autor (2019).

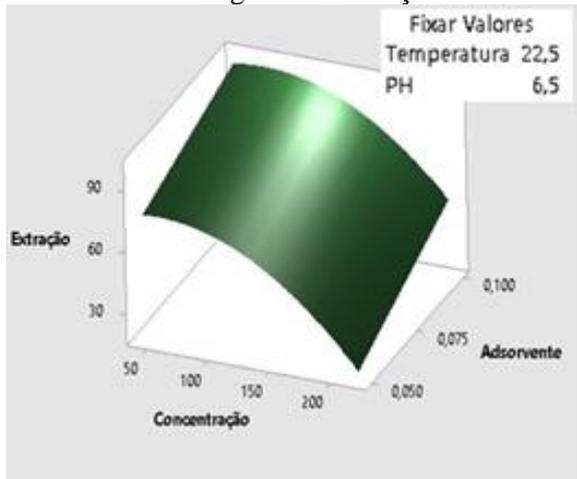
Observa-se nos gráficos de superfície, Figura 12 (b e d), que apesar de ocorrer um leve decréscimo de extração à medida que a temperatura aumenta, este fator não foi considerado significativo para o experimento.

O mesmo comportamento poderá ser observado na Figura 12 (c, e, f), em que ocorre uma pequena redução da extração, à medida em que o pH aumenta, mas também trata-se de um fator pouco pronunciado.

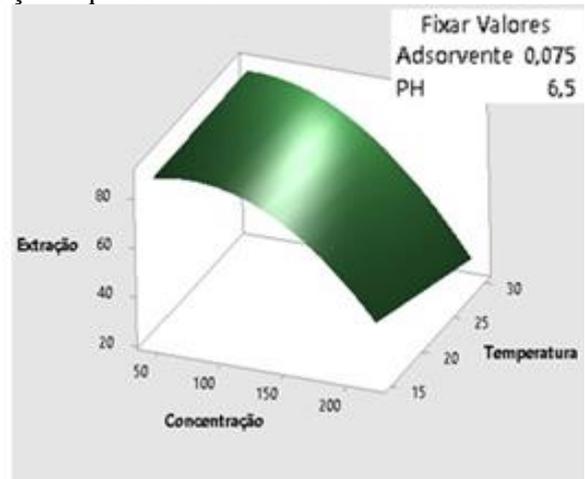
Já com a redução da temperatura e em pH mais baixo, ocorre uma melhor extração, mas considerada pouco significativa.

A Figura 12 (a) chama a atenção, pois o parâmetro que promove maior interação é a relação entre a concentração e quantidade de adsorvente.

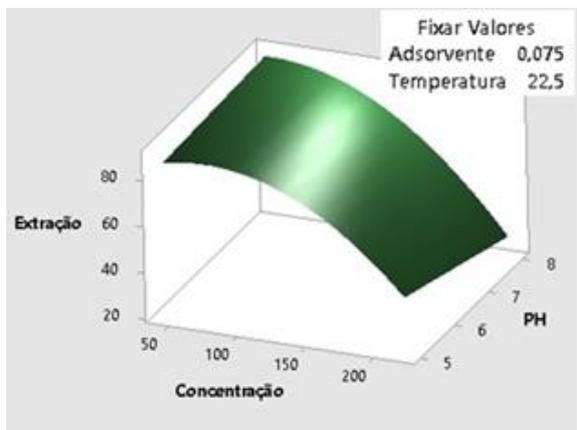
Figura 12 - Relação entre a concentração e quantidade de adsorvente.



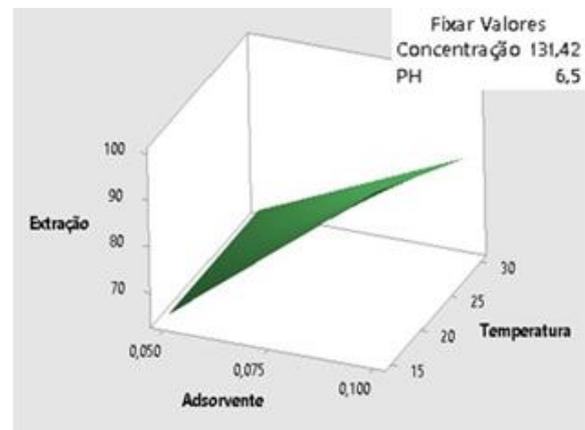
(a)



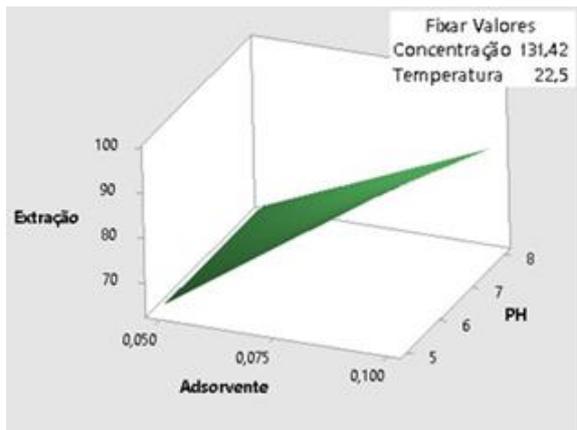
(b)



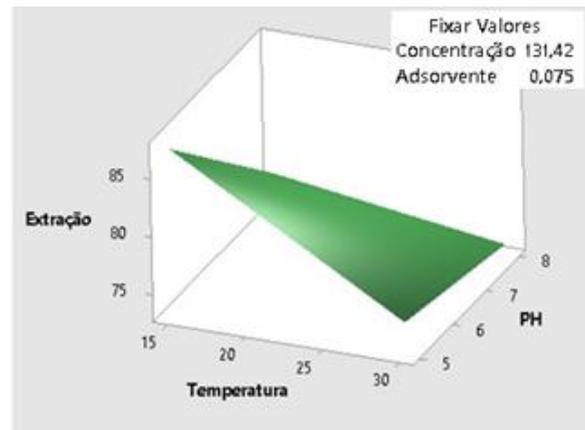
(c)



(d)



(e)



(f)

Fonte: Do autor (2019).

Na Figura 13 é apresentada a equação de regressão utilizada no experimento.

Figura 13 - Equação de regressão do corante amarelo.

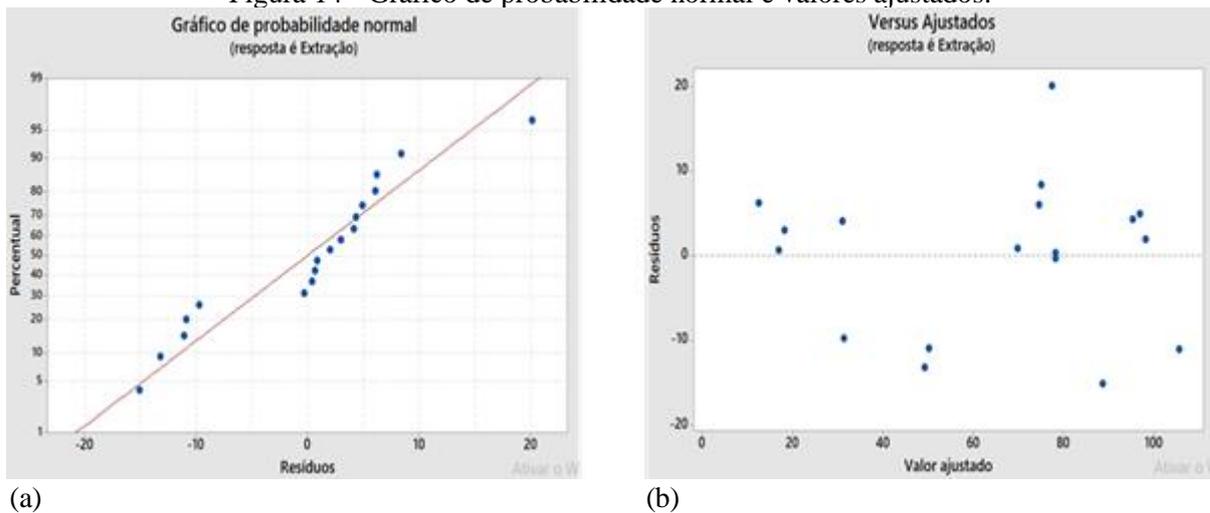
**Equação de Regressão em Unidades Não codificadas**

$$\begin{aligned} \text{Extração} = & -21,8 + 0,573 \text{ Concentração} + 1383 \text{ Adsorvente} + 0,63 \text{ Temperatura} + 4,7 \text{ PH} \\ & - 0,00213 \text{ Concentração} \cdot \text{Concentração} + 1,16 \text{ Concentração} \cdot \text{Adsorvente} \\ & - 0,00680 \text{ Concentração} \cdot \text{Temperatura} - 0,0377 \text{ Concentração} \cdot \text{PH} \\ & - 19,9 \text{ Adsorvente} \cdot \text{Temperatura} - 84 \text{ Adsorvente} \cdot \text{PH} + 0,196 \text{ Temperatura} \cdot \text{PH} \end{aligned}$$

Fonte: Do autor (2019).

Conforme pode ser observado na Figura 14 (a), a distribuição do experimento pode ser considerada normal, pois os valores encontram-se próximos à reta, indicando que o experimento foi realizado de forma correta e adequada. Já os resíduos do modelo para valores ajustados, de acordo com a Figura 14 (b), podem ser considerados normais, devido ao seu comportamento homocedástico em sua formação.

Figura 14 - Gráfico de probabilidade normal e valores ajustados.



Fonte: Do autor (2019).

### 4.3 Resultados obtidos a partir do corante azul brilhante

A Tabela 7 apresenta a ANOVA do modelo, onde se pode observar que os valores de P-Valor que encontram-se abaixo de 0,05 (efeitos isolados), representam os fatores significativos, que foram concentração, massa de adsorvente e temperatura, sendo que a temperatura, apesar de significativa, foi um fator menos expressivo quando comparado à concentração e massa de adsorvente. Percebe-se um bom ajuste do experimento, com  $(R^2) = 97,12\%$ ; entretanto, as interações do experimento não foram significativas.

Tabela 7 – ANOVA do corante azul.

Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
Modelo	11	16227,0	1475,18	18,37	0,001
Linear	4	13751,5	3437,88	42,80	0,000
Concentração	1	9381,4	9381,39	116,79	0,000
Adsorvente	1	3395,6	3395,62	42,27	0,001
Temperatura	1	890,4	890,38	11,08	0,016
PH	1	84,1	84,13	1,05	0,346
Quadrado	1	753,4	753,36	9,38	0,022
Concentração*Concentração	1	753,4	753,36	9,38	0,022
Interação com 2 Fatores	6	1722,1	287,01	3,57	0,073
Concentração*Adsorvente	1	1133,4	1133,37	14,11	0,009
Concentração*Temperatura	1	304,4	304,42	3,79	0,100
Concentração*PH	1	33,8	33,78	0,42	0,541
Adsorvente*Temperatura	1	69,1	69,08	0,86	0,390
Adsorvente*PH	1	38,7	38,68	0,48	0,514
Temperatura*PH	1	142,8	142,75	1,78	0,231
Erro	6	481,9	80,32		
Falta de ajuste	5	479,3	95,85	35,79	0,126
Erro puro	1	2,7	2,68	*	*
Total	17	16708,9			

S = 8,96242      R2 = 97,12%      R2(aj) = 91,83%      R2 (pred) = 70,56%

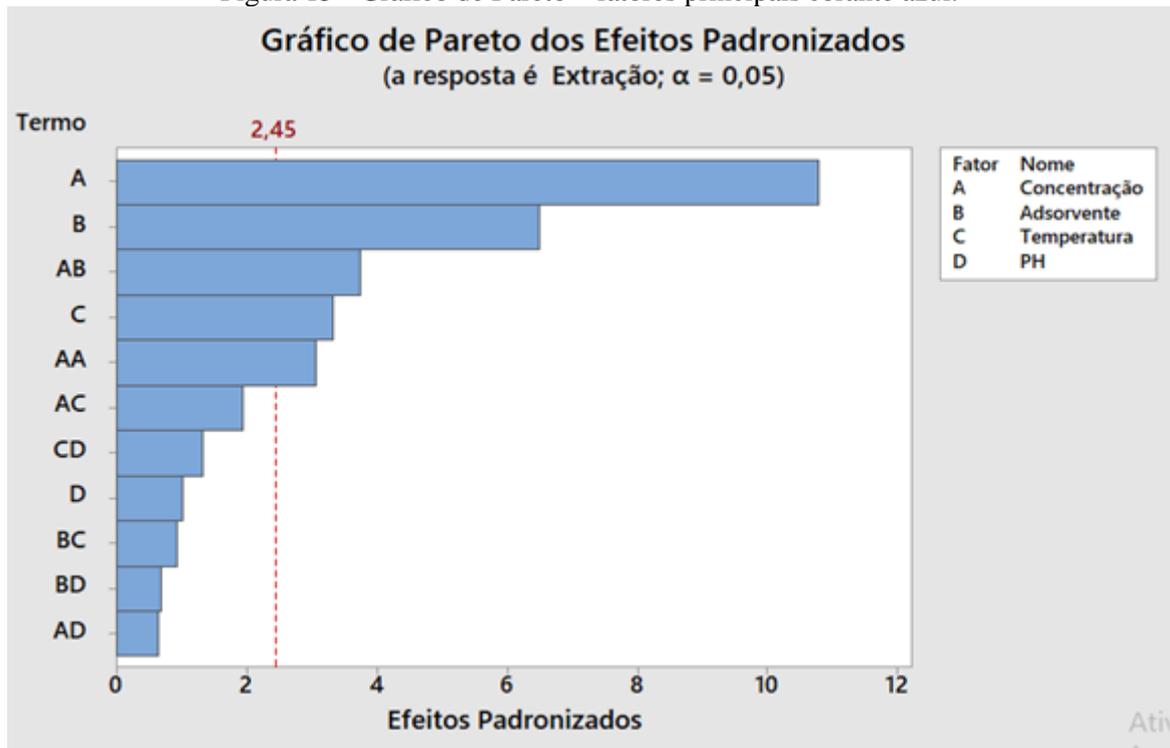
Fonte: Do autor (2019).

Os mesmos parâmetros e fatores foram utilizados no experimento usando o corante azul brilhante, sendo possível identificar os fatores que representaram maior significância demonstrados no gráfico de Pareto, representado na Figura 15.

Os percentuais mínimo e máximo de extração para corante azul foram de - 0,1274 e 95,6655%, respectivamente, onde o valor negativo para extração também pode ser explicado pelo limite de erro do experimento e, neste caso, para valores negativos, nos indica que não houve extração de corante azul.

Observa-se que os fatores concentração e massa de adsorvente foram os efeitos mais pronunciados no experimento, seguidos das interações (concentração e adsorvente), onde na medida em que se reduz a concentração do corante e aumenta-se a quantidade de adsorvente, ocorre uma maior extração decorrente da relação entre o número de sítios ativos do adsorvente e a relação de moléculas do corante em índices menores de concentração. Já a temperatura, embora se apresente à direita da linha tracejada, seus efeitos foram menores quando comparados à concentração e massa de adsorvente.

Figura 15 - Gráfico de Pareto – fatores principais corante azul.



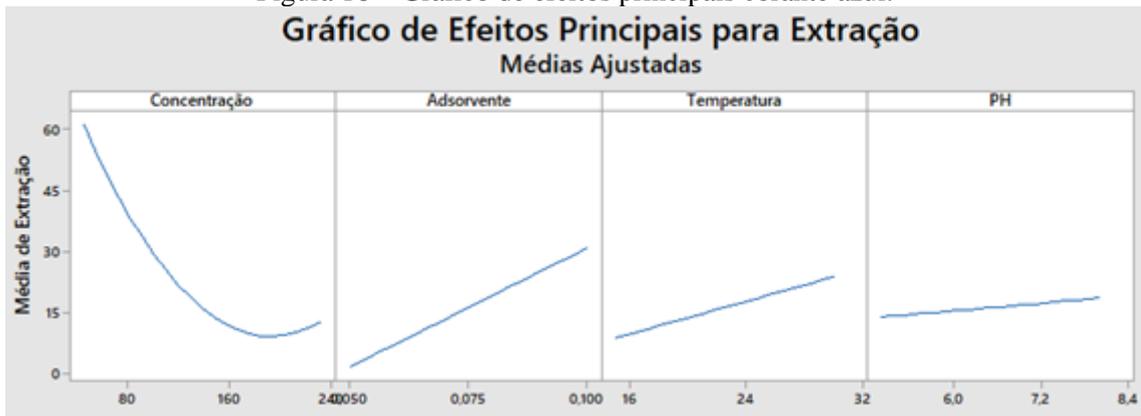
Fonte: Do autor (2019).

O mesmo comportamento de forma individual pode ser observado no gráfico dos efeitos principais para extração, como pode ser visto na Figura 16. À medida em que se tem menores taxas de concentração, observa-se uma remoção em torno de 60% e, quando a mesma é aumentada, a taxa de remoção fica abaixo de 15%. A justificativa para este comportamento é que em maiores concentrações de corantes teremos maior número de moléculas para serem adsorvidas, contribuindo negativamente para o experimento.

O comportamento da massa de adsorvente é semelhante, porém seus efeitos são positivos, ou seja, para maiores valores de massas de adsorvente tivemos uma remoção na ordem de 30% e, à medida em que a massa é reduzida, observamos que a queda no percentual de extração ficou abaixo de 7%. Com o aumento da massa de adsorvente, o número de sítios ativos também aumenta, contribuindo para que as moléculas de corantes aumentem a possibilidade de encontrar esses sítios ativos para adsorver.

Já o comportamento da temperatura, à medida em que a mesma é elevada, o percentual de extração é ligeiramente aumentado, sendo que o mesmo ocorre com o pH, ou seja, quando se eleva o pH é possível observar maiores taxas de extração, mas seu impacto é pouco pronunciado, como pode ser observado no gráfico dos efeitos principais na Figura 16.

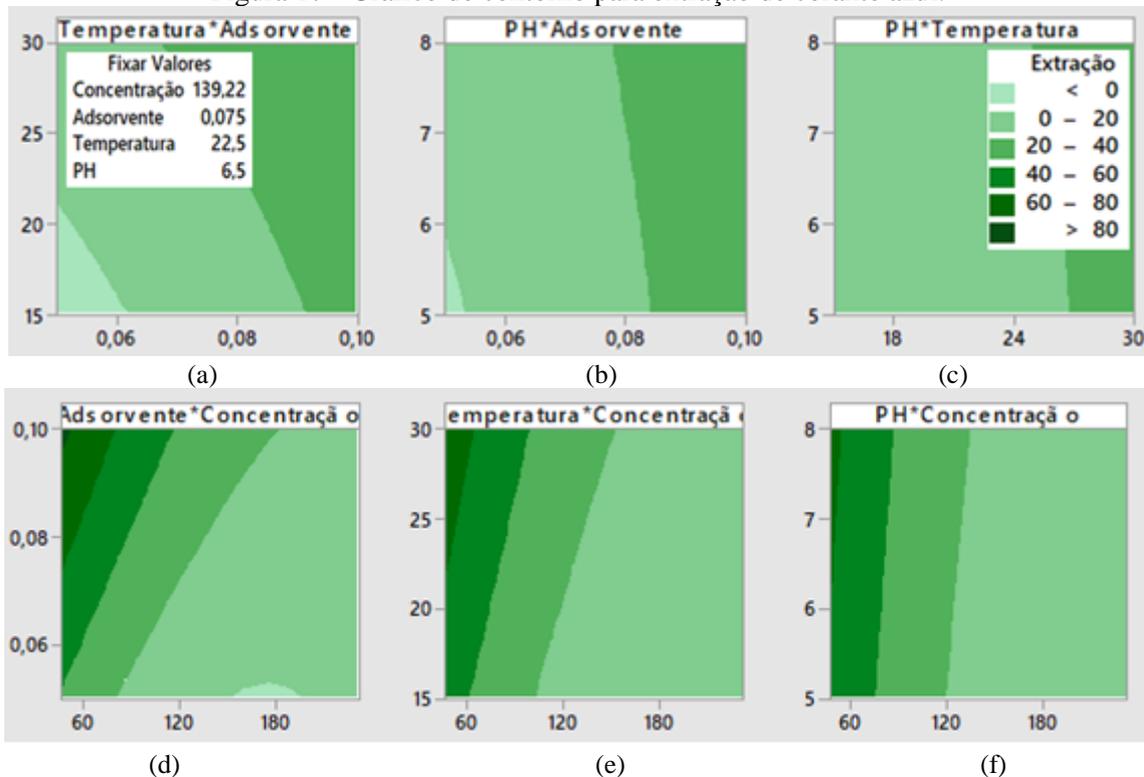
Figura 16 – Gráfico de efeitos principais corante azul.



Fonte: Do autor (2019).

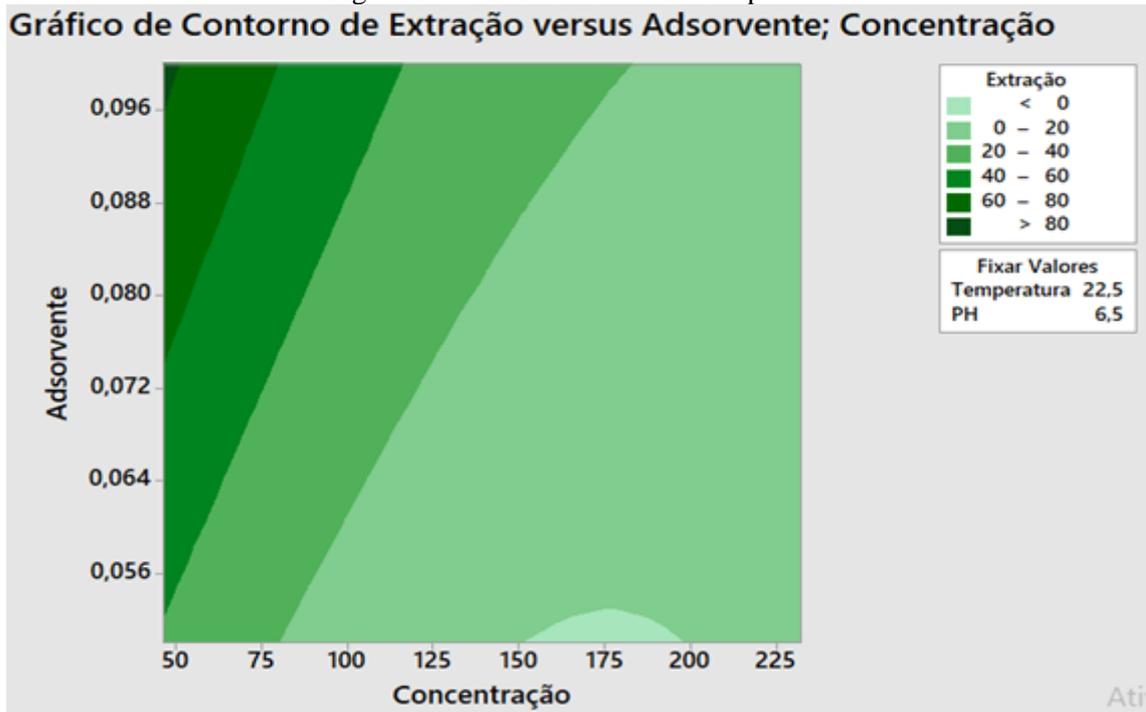
Como pode-se observar nos gráficos de contorno da Figura 17 (a, b, c e f), para os valores de concentração e adsorvente, e valores médios de temperatura e pH, os fatores de interação levam a interpretar que na realidade o que proporciona maiores índices de extração do corante azul é a relação entre a quantidade de adsorvente e a concentração, como pode ser observado na Figura 17 (a), apresentada de forma ampliada na Figura 18.

Figura 17 - Gráfico de contorno para extração de corante azul.



Fonte: Do autor (2019).

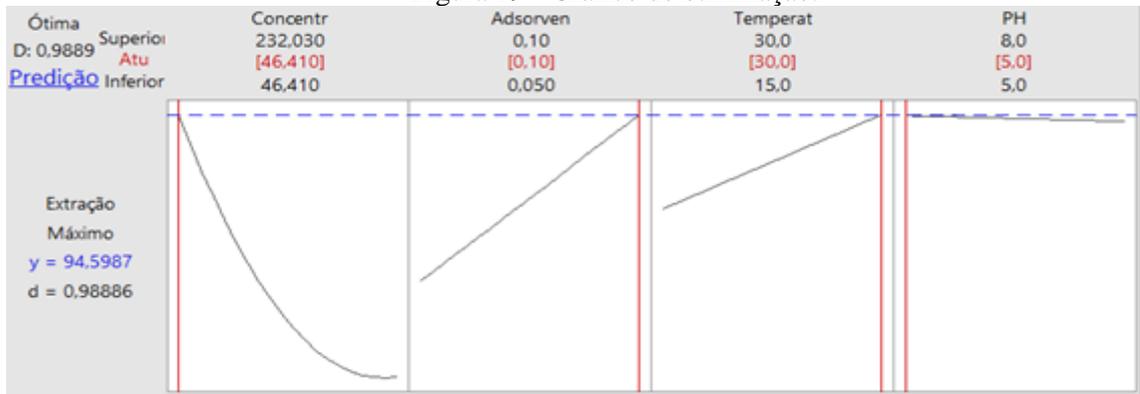
Figura 18 - Gráfico de contorno ampliado.



Fonte: Do autor (2019).

O gráfico de otimização da Figura 19 mostra que para obter o máximo de extração, os fatores concentração, massa de adsorvente, temperatura e pH precisariam estar nas faixas de 46,410 ppm; 0,10 g; 30°C e 5,0, respectivamente. À medida em que se aumenta os níveis de concentração tem-se uma significativa redução na taxa extração, logo, quando se aumenta a quantidade de adsorvente, percebe-se o aumento dos níveis de extração. Já a temperatura, com seu aumento, ocorre um aumento na extração, mas pouco significativo quando comparado com a concentração e adsorvente. O pH, apesar de valores menores serem favoráveis à extração, demonstrou-se o menos significativo dentre os demais.

Figura 19 - Gráfico de otimização.

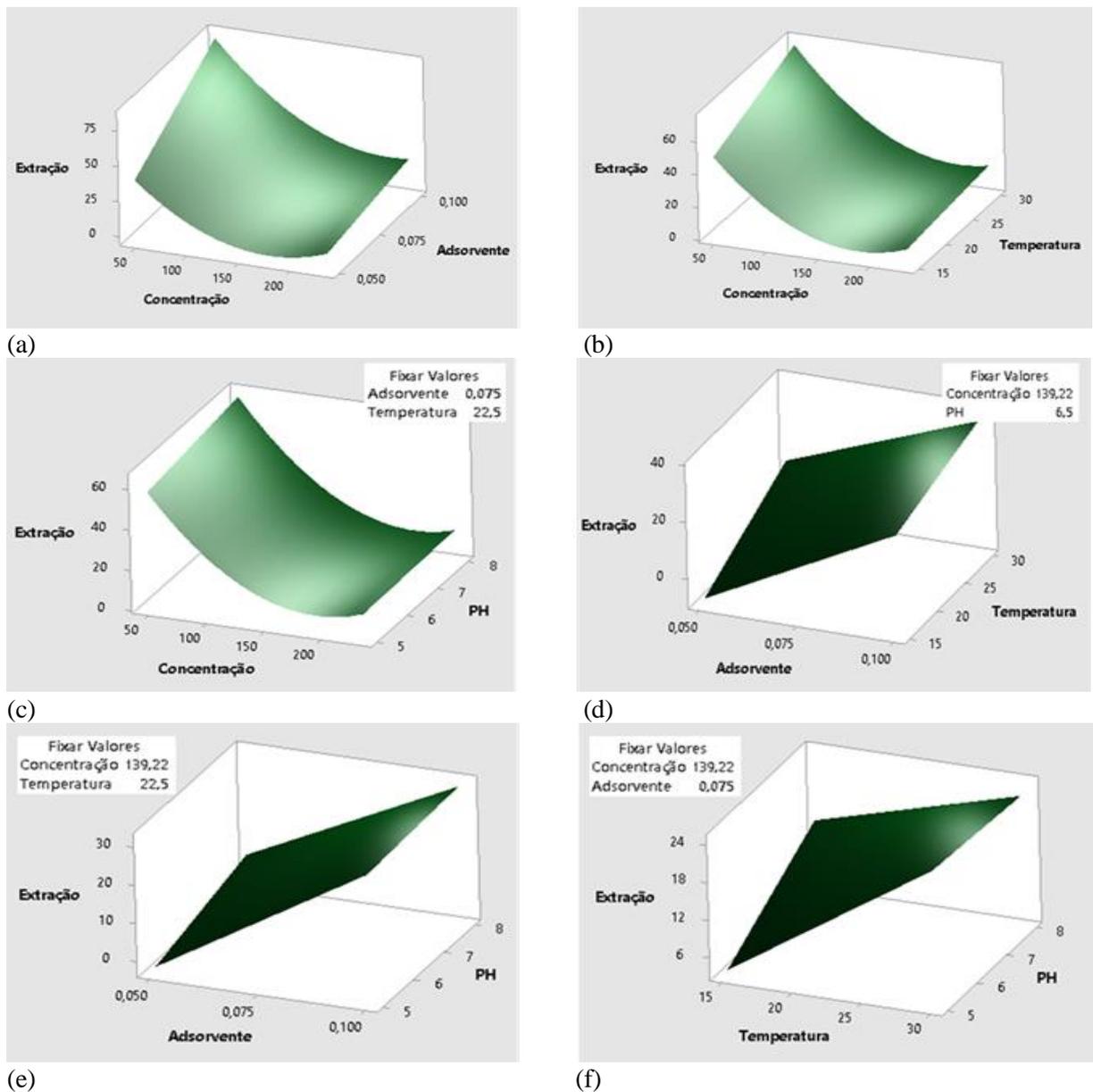


Fonte: Do autor (2019).

Observa-se nos gráficos de superfície, Figura 20 (b e d), que o aumento da temperatura permite uma maior extração de corante, porém, não foi tão significativo para o experimento. O mesmo comportamento poderá ser observado na Figura 20 (c, e, f), em que ocorre uma pequena redução da extração a medida em que o pH aumenta, mas também se trata um fator pouco pronunciado.

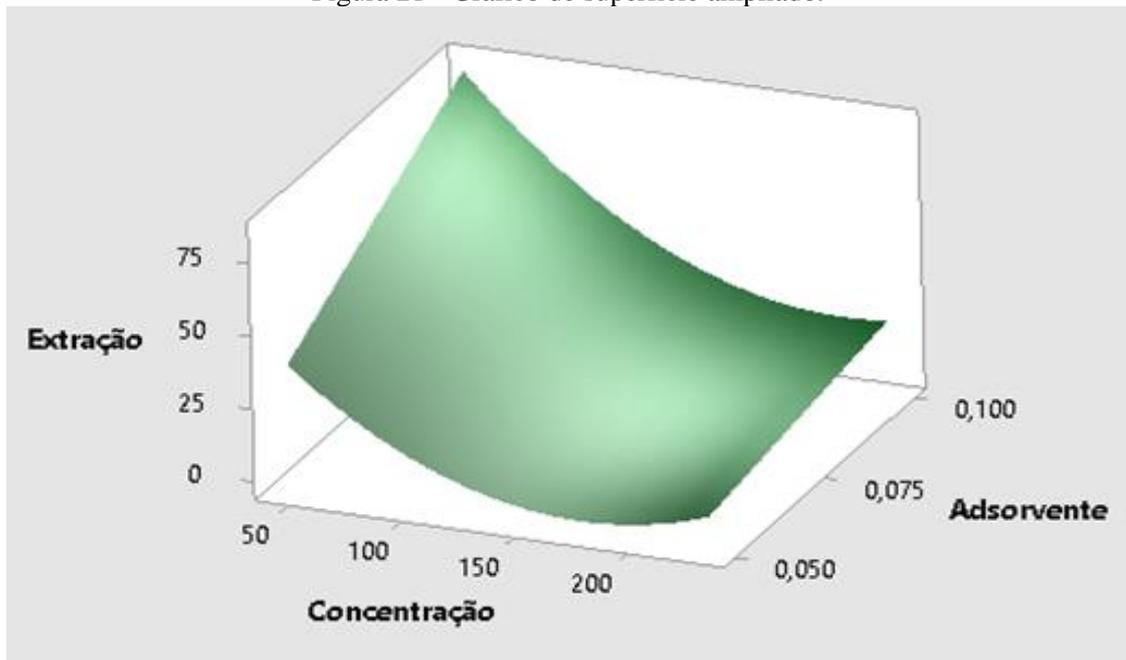
Já a Figura 20 (a) chama a atenção, pois os parâmetros que promovem índices de maior interação é a relação entre a concentração e quantidade de adsorvente, onde o percentual de remoção encontra-se em torno de 75%, que poderá ser observado na Figura 21 de forma ampliada.

Figura 20 – Gráfico de superfície.



Fonte: Do autor (2019).

Figura 21 - Gráfico de superfície ampliado.



Fonte: Do autor (2019).

Na Figura 22 é apresentada a equação de regressão utilizada no experimento.

Figura 22 - Equação de regressão do corante azul.

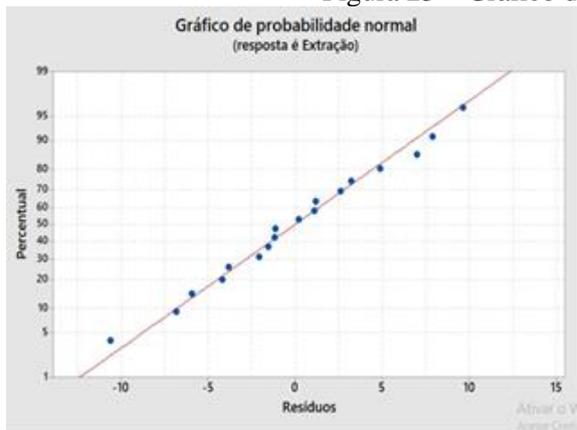
**Equação de Regressão em Unidades Não codificadas**

$$\begin{aligned} \text{Extração} = & -121,8 - 0,445 \text{ Concentração} + 1607 \text{ Adsorvente} + 4,42 \text{ Temperatura} + 12,07 \text{ PH} \\ & + 0,002390 \text{ Concentração} \cdot \text{Concentração} - 3,627 \text{ Concentração} \cdot \text{Adsorvente} \\ & - 0,00627 \text{ Concentração} \cdot \text{Temperatura} - 0,0104 \text{ Concentração} \cdot \text{PH} \\ & - 11,1 \text{ Adsorvente} \cdot \text{Temperatura} - 41,5 \text{ Adsorvente} \cdot \text{PH} - 0,266 \text{ Temperatura} \cdot \text{PH} \end{aligned}$$

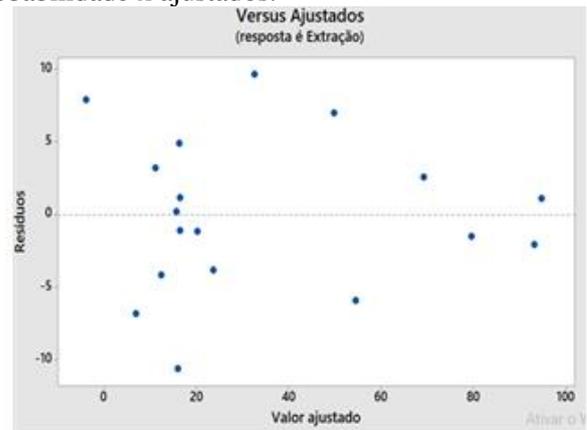
Fonte: Do autor (2019).

Conforme pode ser observado na Figura 23 (a), a distribuição do experimento pode ser considerada normal, pois os valores encontram-se próximos à reta, indicando que o experimento foi realizado de forma correta e adequada. Já os resíduos do modelo para valores ajustados, de acordo com a Figura 23 (b), podem ser considerados normais, devido ao seu comportamento homocedástico em sua formação.

Figura 23 – Gráfico de probabilidade x ajustados.



(a)



(b)

Fonte: Do autor (2019).

## 5 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos, a remoção de corante amarelo tartrazina é favorecida quando se tem baixas concentrações de corante e maiores quantidades de adsorvente, sendo definidos como os fatores mais significativos, pois maiores quantidades de adsorvente aumentam a possibilidade de as moléculas de corantes encontrarem sítios ativos para serem adsorvidas. A temperatura de 15°C e pH 5,0 foram mais favoráveis ao processo de extração, apesar de serem considerados fatores pouco pronunciados no experimento. Para que se obtenha melhores índices de extração, o experimento nos apresentou os melhores parâmetros para cada fator, que foram: 93,3672 ppm para concentração; 0,10 g para massa de adsorvente; 15°C para temperatura e pH 5,0.

O corante azul brilhante apresentou comportamento semelhante ao corante amarelo, ou seja, quanto menor a concentração e maior a quantidade de adsorvente, melhores serão as taxas de extração, e que também foram considerados os fatores mais importantes. Já a temperatura e pH mais elevados demonstraram melhores condições de extração, mas que também foram considerados fatores menos significativos. Para os melhores índices de extração apresentados pelo experimento foram os seguintes parâmetros: 46,410 ppm para concentração; 0,10 g para massa de adsorvente, 30°C de temperatura e pH 5,0.

Baseado nos resultados apresentados, pode-se dizer que o carvão ativado de coco de babaçu possui potencial para ser utilizado como adsorvente para a remoção de corantes artificiais.

## REFERÊNCIAS

- ADITIVOS INGREDIENTES. **Os corantes alimentícios**. 2018. Disponível em: <[http://insumos.com.br/aditivos\\_e\\_ingredientes/materias/119.pdf](http://insumos.com.br/aditivos_e_ingredientes/materias/119.pdf)>. Acesso em: 05 mai. 2018.
- ALBUQUERQUE, M. V. et al. Educação Alimentar: uma proposta de redução do consumo de aditivos alimentares. **Química Nova na Escola**, v. 34, n. 2, p. 51-57, 2012. Disponível em: <[http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc34\\_2/02-QS-33-11.pdf](http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc34_2/02-QS-33-11.pdf)>. Acesso em: 23 set. 2018.
- ALVES, A. C. de S. et al. Purificador de água com meio filtrante a base de carvão ativado da casca de coco verde. SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 5., 2016. **Anais...** Montes Claros, 2016.
- ATKINS, P. W. **Físico-Química**. Rio de Janeiro: LTC, 1999. 159 p.
- BARBOSA, D. L. **A exploração de um Sistema de reservatórios: uma análise otimizada dos usos e objetivos múltiplos na Bacia do Rio Capibaribe-Pe**. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Campina Grande, PB, 2008. Disponível em: <[http://www.recursosnaturais.ufcg.edu.br/teses/DayseLBarbosa\\_2008.pdf](http://www.recursosnaturais.ufcg.edu.br/teses/DayseLBarbosa_2008.pdf)>. Acesso em: 23 set. 2018.
- BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. 4a ed. Porto Alegre, 2010.
- BASTAKI, M. et al. Lack of genotoxicity in vivo for food color additive Allura Red AC. **Food and Chemical Toxicology**, Amsterdam, v. 105, p. 308-314, abr. 2017.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Portaria n. 540**, de 27 de outubro de 1997. Aprova o Regulamento Técnico: Aditivos Alimentares - definições, classificação e emprego. Disponível em: <[http://portal.anvisa.gov.br/documents/33916/391619/PORTARIA\\_540\\_1997.pdf/3c55fd22-d503-4570-a98b-30e63d85bdad](http://portal.anvisa.gov.br/documents/33916/391619/PORTARIA_540_1997.pdf/3c55fd22-d503-4570-a98b-30e63d85bdad)>. Acesso em: 13 abr. 2018.
- \_\_\_\_\_. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC n. 64**, de 16 de setembro de 2008. Aprova Regulamento Técnico sobre Atribuição de aditivos e seus limites máximos para alimentos. set., 2008. Disponível em: <<http://portal.anvisa.gov.br/documents/33916/391619/Resolucao%2BRDC%2Bn%2B64%2Bde%2B16%2Bde%2Bsetembro%2Bde%2B2008.pdf/2f891ac8-aaf3-48a7-8c03-61b511cb9324>>. Acesso em: 06 mai. 2018.
- CÂMARA, A.M. **Corantes azo: características gerais, aplicações e toxicidade**. 2017. TCC. (Graduação em Nutrição) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017. Disponível em: <[https://monografias.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/5117/1/Corantesazocaracter%C3%A4Dsticas\\_2017\\_Trabalho%20de%20Conclus%C3%A3o%20de%20Curso](https://monografias.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/5117/1/Corantesazocaracter%C3%A4Dsticas_2017_Trabalho%20de%20Conclus%C3%A3o%20de%20Curso)>. Acesso em: 18 abr. 2018.
- CERQUEIRA, V. **Teste de hipóteses para grafos aleatórios com aplicação à neurociência**. [s.l.] Instituto de Matemática e Estatística da Universidade de São Paulo, 2014.

CNNPA. Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos. **Resolução nº 44 de 1977**. Considera corante a substância ou a mistura de substâncias que possuem a propriedade de conferir ou intensificar a coloração de alimento (e bebida). Disponível em: <[http://portal.anvisa.gov.br/documents/33916/391619/RESOLUCAO\\_CNNPA\\_44\\_1977.pdf/b8d43a0d-5c1b-4be1-ba69-67f69cf55446](http://portal.anvisa.gov.br/documents/33916/391619/RESOLUCAO_CNNPA_44_1977.pdf/b8d43a0d-5c1b-4be1-ba69-67f69cf55446)>. Acesso em: 23 set. 2018.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução n. 357**, de 17 de março de 2005. Alterada pela Resolução 410/2009 e pela 430/2011. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <[http://portalpnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLUCAO\\_CONAMA\\_n\\_357.pdf](http://portalpnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLUCAO_CONAMA_n_357.pdf)>. Acesso em: 09 maio 2018.

\_\_\_\_\_. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução n. 410**, de 04 de maio de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=603>>. Acesso em: 01 jun. 2018.

\_\_\_\_\_. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução n. 430** de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n. 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 01 jun. 2018.

BRUNO, M.; OLIVEIRA, R. A. de. Tratamento anaeróbio de águas residuárias do beneficiamento de café por via úmida em reatores UASB em dois estágios. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 2, p. 364-377, abr./jun. 2008.

CONTE, F. A. Efeitos do consumo de aditivos químicos alimentares na saúde humana. **Revista Espaço Acadêmico**, n. 181, jun. 2016. Disponível em: <<http://eduem.uem.br/ojs/index.php/EspacoAcademico/article/viewFile/30642/16770>>. Acesso em: 17 mar. 2018.

COSTA, D. M. D. et al. Normal boundary intersection method based on principal components and Taguchi's signal-to-noise ratio applied to the multiobjective optimization of 12L14 free machining steel turning process. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 87, n. 1-4, p. 825-834, 2016.

CRINI, G. Non-convencional low-cost adsorbents for dye removal: a review. **Bioresource Technology**, v. 97, p. 1061-1085, 2006.

CRINI, G.; BADOT, P.-M. Application of chitosan, a natural aminopolysaccharide, for dye removal from aqueous solutions by adsorption processes using batch studies: A review of recent literature. **Progress in Polymer Science**, v. 33, p. 399-447, 2008.

CUNHA, R. Corantes naturais vs corantes sintéticos: o paradoxo da sustentabilidade. **Stylo Urbano**, 2016. Disponível em: <<http://www.stylourbano.com.br/corantes-naturais-vs-corantes-sinteticos-o-paradoxo-da-sustentabilidade/>>. Acesso em: 07 maio 2018.

DIAS, D. N D. L.; DIAS, A. D. L. Repensando o futuro da Água em nosso planeta. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, v. 6, p. 19-32, ago 2019.

DIAS, J. M. C. S. et al. **Produção de briquetes e pêlos a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais**. Brasília, DF: EmbrapaAgroenergia, 2012.

ELBANNA, K. et al. Microbiological, histological, and biochemical evidence for the adverse effects of food azo dyes on rats. **Journal of Food and Drug Analysis**, Taiwan, v. 25, p. 667-680, 15 fev. 2017.

FERNANDES, A.C.P. et al. **Adsorção de efluentes têxteis: tratamento de efluentes da indústria têxtil por adsorção em materiais de baixo custo**. Relatório de projeto. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2010.

GHAFOORI, S.; MEHRVAR, M.; CHAN, P. Optimisation of photo-Fenton-like degradation of aqueous polyacrylic acid using Box-Behnken experimental design. **The Canadian Journal 105 of Chemical Engineering**, v. 92, n. 01, p. 97–108, 2014.

HADIBARATA, T.; KRISTANTI, R.A. Effect of environmental factors in the decolorization of Remazol Brilliant Blue R by *Polyporus* sp. S133. **Journal of the Chilean Chemical Society**, v. 57, n. 2, p. 1095-1098, 2012.

HEINFLING-WEIDTMANN, A.; REEMTSMA, T.; STROM, T.; SZEWZYK, U. Sulfophthalimide as major metabolite formed from sulfonated phthalocyanine dyes by the white-rot fungus *Bjerkandera adusta*. **FEMS Microbiology Letters**, v. 203, n. 2, p. 179-183, 2001.

IQBAL, M. et al. Response surface methodology application in optimization of cadmium adsorption by shoe waste: A good option of waste mitigation by waste. **Ecological Engineering**, v. 88, p. 265–275, 2016.

JOHNSON, R.A.; WICHERN, D.W. **Applied Multivariate Statistical Analysis**. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2007.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 6 ed. Rio de Janeiro, ABES, 2011.

KUHAD, R.C. et al. Developments in microbial methods for the treatment of dye effluents. **Advances in Applied Microbiology**, v. 56, p. 185-213, 2004.

LEE, K. M.; ABDUL HAMID, S. B.; LAI, C. W. Multivariate analysis of photocatalytic-mineralization of Eriochrome Black T dye using ZnO catalyst and UV irradiation. **Materials Science in Semiconductor Processing**, v. 39, p. 40–48, 2015.

LIRA, W.S.; CÂNDIDO, G.A. **Gestão sustentável dos recursos naturais: uma abordagem participativa**. Universidade Estadual da Paraíba. Campina Grande: EDUEPB, 2013, 325 p. Disponível em: <<http://books.scielo.org/id/bxj5n/pdf/lira-9788578792824.pdf>>. Acesso em: 12 abr. 2018.

LIU, W. et al. Biodecolorization of azo, anthraquinonic and triphenylmethane dyes by white-rot fungi and a laccase-secreting engineered strain. **Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 31, n. 3, p. 127-132, 2004.

MAIMONE, J.C.C.; HARDER, M.N.C. Uso e conservação da água na produção de alimentos e energia. **Bioenergia em Revista**, v. 4, n. 2, 2014. Disponível em: <[www.fatecpiracicaba.edu.br/revista/index.php/bioenergiaemrevista/article/download/134/pdf](http://www.fatecpiracicaba.edu.br/revista/index.php/bioenergiaemrevista/article/download/134/pdf)>. Acesso em: 08 maio 2018.

MARTINS, A.P. et al. Aproveitamento de fibra de coco verde para aplicabilidade têxtil. **Revista Redige**, v. 4, n. 2, p. 1-16, 2013.

MASCARENHAS, J.M.O. **Corantes em alimentos: perspectivas, uso e restrições**. 1998. 158 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia e Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1998.

MECHICHI, T.; MHIRI, N.; SAYADI, S. Remazol Brilliant Blue R decolourization by the laccase from *Trametes troglodytes*. **Chemosphere**, v. 64, n. 6, p. 998-1005, 2006.

MELO, F.A. de O.; NEPOMUCENO, A.L.T. Determinação do índice de qualidade da água do Rio Piranga - MG. SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA. Resende, 2017.14., **Anais...** Resende, 2017. Disponível em: <<https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos17/27725323.pdf>>. Acesso em: 18 maio 2018.

MOHAJERANI, M.; MEHRVAR, M.; EIN-MOZAFFARI, F. Optimization of aqueous p-aminophenol degradation by external-loop airlift sonophotoreactor using response surface methodology. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 90, p. 1221–1234, 2012.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. GrupoGen - LTC, 2012.

\_\_\_\_\_. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. 4. ed. [S.l.]: E Fourth Edition, 2001.

MYERS, R. H.; MONTGOMERY, D. C.; ANDERSON-COOK, C. M. **Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments**. Wiley, 2013.

NAVES, F.L. **Método de intersecção normal de fronteira por análise fatorial aplicado ao tratamento de efluentes**. Tese. 2017. 199 P. (Pós-Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Itajubá, 2017.

NIGAM, P.; ARMOUR, G.; BANAT, I.M.; SINGH, D.; MARCHANT, R. Physical removal of textile dyes effluents and solid-state fermentation of dye-adsorbed agricultural residues. **Bioresource Technology**, v. 72, n. 3, p. 219-226, 2000.

NÓBREGA, A. V. da. **Como fazer carvão com cascas de coco**. 21 de fevereiro de 2017. Disponível em: <[https://www.ehow.com.br/carvao-cascas-coco-como\\_342431/](https://www.ehow.com.br/carvao-cascas-coco-como_342431/)>. Acesso em: 02 mai. 2019.

OLIVEIRA, D. G. **Estudo da aplicação do biocarvão de serragem na adsorção e degradação de propranolol presente em efluentes aquosos.** 2014. 43 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologias para o Desenvolvimento Sustentável) - Universidade Federal de São João del-Rei, Ouro Branco, MG, 2014. Disponível em: <[https://www.ufsj.edu.br/portal2-repositorio/File/ppgtds/DISSERTACOES/Debora\\_Guimaraes.pdf](https://www.ufsj.edu.br/portal2-repositorio/File/ppgtds/DISSERTACOES/Debora_Guimaraes.pdf)>. Acesso em: 09 maio 2018.

OLIVEIRA, K. C. de. **Desenvolvimento de novos adsorventes para aplicação na separação dos isômeros do xileno.** 2013. 86 p. Monografia (Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2013.

OSBORNE, J.W. What is Rotating in Exploratory Factor Analysis? **Practical Assessment, Research & Evaluation**, v. 20, n. 2, p. 1-7, 2015.

OSMA, J.F.; TOCA-HERRERA, J.L.; RODRÍGUEZ-COUTO, S. Transformation path way of Remazol Brilliant Blue R by immobilized laccase. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 22, p. 8509-8514, 2010.

PAIVA, A. P.; FERREIRA, J. R.; BALESTRASSI, P. P. A multivariate hybrid approach applied to AISI 52100 hardened steel turning optimization. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 189, n. 1–3, p. 26–35, 2007.

PAZ, E.C. da S. Alternativa de exploração sustentável dos resíduos do coco verde para a produção de energia. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, Tocantins, 2017. Disponível em: <file:///C:/Users/User/Downloads/49041-204548-1-PB.pdf>. Acesso em: 02 mai. 2019.

PORRO, R. A economia invisível do babaçu e sua importância para meios de vida em comunidades agroextrativistas. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, Belém, v. 14, n. 1, p. 169-188, jan./abr. 2019.

PORTAL SÃO FRANCISCO. **Coco.** 2016. Disponível em: <<https://www.portalsaofrancisco.com.br/alimentos/coco>>. Acesso em: 02 mai. 2019.

PRADO, M.A.; GODOY, H. T. Corantes artificiais em alimentos. **Alim. Nutr.**, Araraquara, v. 14, n. 2, p. 237-250, 2003. Disponível em: <<http://serv-bib.fcfar.unesp.br/seer/index.php/alimentos/article/viewFile/865/744>>. Acesso em: 12 mai. 2018.

PRADO, R.G. **Produção de carvão ativado a partir do resíduo de candeia – Eremanthus erythropappus:** uso como suporte do catalisador H3PMo12O40 em reações de esterificação. 2010. 117 p. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

PROTÁSIO, T. de P. et al. Quality and energetic evaluation of the charcoal made of babaçu nut residues used in the steel industry. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 38, n. 5, p. 435-444, sept./oct. 2014.

QUÍMEA. **Água na Indústria de Alimentos.** 2018. Disponível em: <<http://quimea.com.br/2017/11/agua-na-industria-de-alimentos/>>. Acesso em: 08 maio 2018.

RANGABHASHIYAM, S. et al. Relevance of isotherm models in biosorption of pollutants by agricultural byproducts. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 2, p. 398-414, 2014.

RASOOL, M.A. et al. Use of a plant-based coagulant in coagulation-ozonation combined treatment of leachate from a waste dumping site. **Ecological Engineering**, v. 90, p. 431–437, 2016.

RENCHER, A.C. **Methods of Multivariate Analysis**. 2. ed. [s.l: s.n.], v. 37, 2012.

SÁ, F.P. de. **Adsorção e fotodegradação de corantes, amarelo crepúsculo e azul brilhante, para tratamento de efluentes de indústrias alimentícias**. 2013. 107 p. Tese (Doutorado em Química). Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, 2013. Disponível em: <<https://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/4384>>. Acesso em: 14 maio 2018.

SÁ, F. P. de; NUNES, L. M.; BORGES, E. C. de L. Tratamento de efluentes de indústria alimentícia com o uso de hidrocalumita como adsorvente. **Revista Tecnia**, v. 1, n. 1, p. 101–117, 2016.

SAHOO, P.; PRATAP, A.; BANDYOPADHYAY, A. Modeling and optimization of surface roughness and tool vibration in CNC turning of Aluminum alloy using hybrid RSM-WPCA methodology. **International Journal of Industrial Engineering Computations**, v. 8, p. 385–398, 2017.

SALLEH, M.A.M.; MAHMOUD, D.K. et al. Cationic and anionic dye adsorption by agricultural solid wastes: A comprehensive review. **Desalination**, v. 280, p. 1-13, 2011.

SANTIAGO, B.H.; SEVAN, C.V.P. Tratamento superficial da fibra do coco: estudo de caso baseado numa alternativa econômica para fabricação de materiais compósitos. **Rev. Analytical**, v. 26, n. 1, p. 42-45, 2007.

SATO, G.S. et al. **Tendência de mercado para corantes na indústria de alimentos**. Agricultura em São Paulo, n. 39, p. 1-50, 1992. (Supl. 1). Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/ftp/iea/ie/1992/SUPL-0192.pdf>>. Acesso em: 22 set. 2018.

SCHECHTER; A.; AMARAL, I.; THIENGO, P. **O coco (Cocos nucifera) como matéria-prima**. 2013. TCC (Curso Técnico de Biotecnologia) – Instituto de Tecnologia ORT do Rio de Janeiro, 2013.

SCHMITT, C.C. **Adsorção de compostos sulfurados e nitrogenados do óleo diesel em coluna de carvão ativado**. 2013. 119 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2013.

SHAKER, M. A.; YAKOUT, A. A. Optimization, isotherm, kinetic and thermodynamic studies of Pb (II) ions adsorption onto N-maleated chitosan-immobilized TiO<sub>2</sub> nanoparticles from aqueous media. **Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, v. 154, p. 145–156, 2016.

SHAYKHI, Z. M.; ZINATIZADEH, A. A. L. Statistical modeling of photocatalytic degradation of synthetic amoxicillin wastewater (SAW) in an immobilized TiO<sub>2</sub> photocatalytic

reactor using response surface methodology (RSM). **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, v. 45, n. 4, p. 1717–1726, jul. 2014.

SILVA, R. **Poluição:** lixo, esgoto e metais pesados ameaçam os rios do Brasil. Terra, 08 set. 2014. Disponível em: < <https://www.teraambiental.com.br/blog-da-tera-ambiental/poluicao-lixo-esgoto-e-metais-pesados-amea%C3%A7am-os-rios-do-brasil>>. Acesso em: 22 set. 2018.

SILVA, A. C. da. Reaproveitamento da casca de coco verde. **REMOA**, v. 13, n. 5, p. 4077-4086, dez. 2014.

SILVA, L. A. S. da.; OLIVEIRA, J. M. de; DUARTE, E. A. A.; BARRETO, N. S. E.; CAZETTA, M. L. Descoloração do corante Azul Brillhante de Remazol R por leveduras isoladas de moluscos do Rio Subaé, no Estado da Bahia, Brasil. **Eng. Sanit. Ambient.**, v. 22, n. 6, p. 1065-1074, nov./dez., 2017. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v22n6/1809-4457-esa-s1413-41522017157568.pdf>>. Acesso em: 12 mar. 2018.

SMÍSEK, M.; CERNÝ, S. **Active carbon:** manufacture, propertines, and applications. New York: Elsevier, 1970.

SOUZA, R.M. de. **Corantes naturais alimentícios e seus benefícios à saúde.** TCC. 65 p. (Curso de Graduação em Farmácia) – Centro Universitário Estadual da Zona Oeste, Rio de Janeiro, 2012.

SUKRITI. S. et al. Sequestration of dyes from artificially prepared textile effluent using RSM-CCD optimized hybrid backbone based adsorbent-kinetic and equilibrium studies. **Journal of Environmental Management**, v. 190, p. 176–187, 2017.

TEIXEIRA, J. L.; BONES, B. L.; ALVES, A. K. Obtenção e caracterização de carvão ativado a partir da casca de coco verde. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS. 2018. 23., **Anais...** Foz do Iguaçu, 04 a 08 de novembro de 2018, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.

TEIXEIRA, M. A. Babaçu - uma nova abordagem para uma antiga biomassa brasileira. **Biomassa e Bioenergia**, v. 32, p. 857-864, 2008

TOBASA INDUSTRIAL. **Carvão ativado:** purificando a origem da vida. Disponível em: < <https://www.tobasa.com.br/carvao-ativado>>. Acesso em: 03 junho 2019.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI:** enfrentando a escassez. São Paulo: Rima, 2003a.

\_\_\_\_\_. **Recursos Hídricos.** Instituto Internacional de Ecologia, São Carlos, 2003b.

VICTORINO, C.J.A. **Planeta água morrendo de sede:** uma visão analítica na metodologia do uso e abuso dos recursos hídricos. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007. 231 p. Disponível em: <<http://www.pucrs.br/edipucrs/online/planetaagua.pdf>>. Acesso em: 12 abr. 2018.

WERKEMA, M. C. C.; AGUIAR, S. **Planejamento e análise de experimentos:** como identificar as principais variáveis influentes em um processo. Belo Horizonte Fundação C. 1996.

ZHANG, J. T.; GUO, J.; ZHOU, B. Linear hypothesis testing in high-dimensional one-way MANOVA. **Journal of Multivariate Analysis**, v. 155, p. 200–216, 2017b.