UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

CINTHIA SANY FRANÇA XAVIER

APLICAÇÃO DO PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL NA AVALIAÇÃO DO MESOCARPO DO COCO VERDE PARA A REMOÇÃO DE CORANTES TÊXTEIS PRESENTES EM ÁGUAS RESIDUÁRIAS

CAMPINA GRANDE – PB
2017

CINTHIA SANY FRANÇA XAVIER

APLICAÇÃO DO PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL NA AVALIAÇÃO DO MESOCARPO DO COCO VERDE PARA A REMOÇÃO DE CORANTES TÊXTEIS PRESENTES EM ÁGUAS RESIDUÁRIAS

Monografia apresentada como Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) à Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba, como exigência para obtenção do título de Engenheira Sanitarista e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Fernandes Vieira

CAMPINA GRANDE – PB
2017

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

X3a Xavier, Cinthia Sany França.
Aplicação do planejamento experimental na avaliação do mesocarpo do coco verde para a remoção de corantes têxteis presentes em águas residuárias [manuscrito] : / Cinthia Sany Franca Xavier. - 2017.
40 p. : il. colorido.

Digitado.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2017.
"Orientação : Prof. Dr. Fernando Fernandes Vieira, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - CCT."

1. Mesocarpo do coco verde. 2. Corantes têxteis. 3. Adsorção. 4. Tratamento de efluentes.

21. ed. CDD 660.284 235

CINTHIASANY FRANÇA XAVIER

AVALIAÇÃO DO MESOCARPO DO COCO VERDE PARA A REMOÇÃO DE CORANTES TÊXTEIS PRESENTES EM ÁGUAS RESIDUÁRIAS

Monografia apresentada como Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) à Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba, como exigência para obtenção do título de Engenheira Sanitarista e Ambiental.

DATA DA APRESENTAÇÃO: 28 / 11 /2017.
NOTA: 10,0 (dez vírgula zero)

BANCA AVALIADORA

Prof. Dr. Fernando Fernandes Vieira
Orientador – DESA/CCT/UEPB

Profa. Dra. Lígia Maria Ribeiro Lima
Examinadora I - DESA/CCT/UEPB

Profa. Dra. Neyliane Costa de Souza
Examinadora II - DESA/CCT/UEPB

CAMPINA GRANDE – PB
2017

"*Determinação, coragem e autoconfiança são fatores decisivos para o sucesso. Se estamos possuídos por uma inabalável determinação, conseguiremos superá-los. Independentemente das circunstâncias, devemos ser sempre humildes, recatados e despidos de orgulho".*

Dalai Lama

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me proporcionado a maravilhosa dádiva da vida e pelas inúmeras oportunidades de crescimento e aperfeiçoamento.

Aos meus pais, Cláudio Xavier Moura e Maria da Conceição de França, pela educação e por sempre apoiarem minhas decisões.

Ao meu orientador, professor Fernando Fernandes Vieira, por toda experiência a mim transmitida durante todo o curso e no período em que fui sua aluna PIBIC.

A todos os professores que contribuíram significativamente para minha vida acadêmica, em especial as professoras Lígia Ribeiro e Neyliane Costa.

Ao meu parceiro de laboratório Gustavo Santiago por todo auxílio e por ter corroborado para a finalização desse trabalho.

Aos meus amigos Alan Newton, Ana Carla e Brunna Amorim pelos momentos de alegria que vocês me proporcionam fora da Universidade. Amo muito vocês.

Aos poucos e bons amigos que fiz durante os cinco anos de curso, em especial a Andrezza Agra, Rafaela Barbosa, Jefferson de Oliveira e Yohanna Villar por todas as vezes em que discutimos durante os inúmeros trabalhos em que realizamos juntos, aprendi muito com cada um de vocês. Continuem sendo pessoas meiguinhas e calmas!

RESUMO

A contaminação dos recursos hídricos pode ser apontada como um dos grandes problemas ambientais, sendo provocada muitas vezes pelo descarte inadequado dos rejeitos gerados pela indústria o que acarreta grande preocupação aos ambientalistas, uma vez que causam alterações nas condições naturais do meio onde são descartados. Dentre as indústrias responsáveis pela geração desses efluentes se destaca a indústria têxtil, pois além de consumir grande quantidade de água e de insumos químicos, gera grandes volumes de efluentes ricos em matéria orgânica e ainda fortemente tingidos por corantes que não se fixaram às fibras dos tecidos. Nesse contexto, os processos de adsorção surgem como uma técnica de tratamento eficaz no que diz respeito ao custo, flexibilidade e facilidade de operação, pois não sofrem influência da composição do efluente (toxicidade e degradabilidade). Nesta pesquisa o mesocarpo do coco verde foi utilizado como um bioadsorvente. O mesmo foi triturado, seco e peneirado obtendo-se assim uma farinha com a finalidade de se avaliar o seu potencial no tratamento de águas residuárias, contendo corantes têxteis sintéticos. Em suma, por meio de todas as observações e dos resultados obtidos, podemos constatar que a farinha do mesocarpo do coco mostrou-se um adsorvente atrativo, apresentando bons resultados na redução do corante Tupy, em torno de 53% de eficiência na redução do corante e se constituindo como uma boa opção para sua utilização como adsorvente por se tratar de um resíduo de fácil obtenção e manipulação, além de apresentar boa capacidade de remoção do corante têxtil Tupy bordô.

PALAVRAS-CHAVE: Mesocarpo do coco verde, corantes têxteis, adsorção.

ABSTRACT

Contamination of water resources can be identified as one of the big environmental problems, often caused by the inappropriate disposal of waste generated by the industry, which causes high worry to environmentalists, once they cause changes in the natural conditions of the environment where they are discarded. Among the industries responsible for the generation of these effluents the textile industry stands out, because to consuming large quantities of water and chemical inputs, and it generates large volumes of effluents abundant in organic matter and still heavily dyed by dyes that did not bind to the fibers of the tissues. In this context, adsorption processes appear as an effective technique of treatment with respect to cost, flexibility, facility of operation and because they are not influenced by the composition of the effluent (toxicity and degradability). In this research, the mesocarp of green coconut was used as a bioadsorbent. It was crushed, dried and sieved to obtain a flour with the purpose of evaluating its potential in the treatment of wastewater containing synthetic textile dyes. In short, across all observations and results obtained, we can verify that the mesocarp of coconut flour showed an attractive adsorbent, with good results in the reduction of Tupy dye, around 53% efficiency in reducing the dye and constituting as a good option for its use as adsorbent because it is a residue that is easy to obtain and manipulate, besides showing good ability to remove Tupy bordeaux textile dye.

KEYWORDS: Mesocarp of green coconut, textile dye, adsorption.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Consumo de água segundo as etapas do processo. 15
Tabela 2 - Diferenças entre o processo de quimissorção e fisissorção. 19
Tabela 3 - Composição química da casca de coco e da fibra de coco. 22
Tabela 4 - Absorbância adquirida para comprimento de onda entre 450 e 530 nm com intervalo de 20 nm. 25
Tabela 5 - Valores obtidos para a absorbância. 26
Tabela 6 - Valores da absorbância para diferentes diluições. 26
Tabela 7 - Variáveis e níveis estudados no planejamento fatorial completo 24. 28
Tabela 8 - Matriz de planejamento fatorial aplicado ao estudo de remoção de corantes em efluentes têxteis. 28
Tabela 9 - Quantidade de corante adsorvido (mg) por massa de adsorvente (g) e redução do corante em %. 30
Tabela 10 - ANOVA e coeficiente de determinação do planejamento fatorial tendo como variável dependente a qt. 33
Tabela 11 - ANOVA e coeficiente de determinação do planejamento fatorial tendo como variável dependente o percentual de redução do corante (%Red). 33

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema das etapas de adsorção. 18
Figura 2 - Morfologia do coco verde ilustrando as principais partes do fruto. 21
Figura 3 - Mesocarpo do coco verde após triturado (a) e peneirado (b). 24
Figura 4 - Curva de calibração obtida a partir do comprimento de onda de 520 nm. 27
Figura 5 - Gráfico de Pareto - efeitos para quantidade adsorvida (qt). 31
Figura 6 - Gráfico de Pareto - efeitos para redução (%red). 32
Figura 7 - Superfície de resposta para qt. 34
Figura 8 - Gráfico de contorno para qt – relação massa versus concentração..... 35
Figura 9 - Gráfico de contorno para qt – relação massa versus tempo..... 35
Figura 10 - Gráfico de contorno para %Red – relação massa versus tempo. 36
Figura 11 - Gráfico de contorno para %Red – relação concentração versus pH..... 36

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 11
1.1 OBJETIVOS 12
1.1.1 Objetivo Geral 12
1.1.2 Objetivos Específicos 12
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 13
2.1 OS CORANTES E A INDÚSTRIA TÊXTIL 13
2.2 TRATAMENTOS MAIS UTILIZADOS PARA EFLUENTES TÊXTEIS 16
2.3 ADSORÇÃO 17
2.3.1 Fatores que Influenciam o Processo de Adsorção 20
2.4 MESOCARPO DO COCO VERDE 21
3 METODOLOGIA 24
3.1 PREPARO DA BIOMASSA 24
3.2 PREPARO DO ADSORVATO 25
3.3 CONSTRUÇÃO DA CURVA DE CALIBRAÇÃO 25
3.4 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL 27
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 30
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS 37
REFERÊNCIAS 38

1 INTRODUÇÃO

O descarte inadequado de rejeitos gerados pelas indústrias é um dos grandes contaminadores dos recursos hídricos causando alterações nas condições naturais do meio onde são descartados e isso tem gerado uma grande preocupação aos ambientalistas, pois o rápido desenvolvimento tecnológico e científico das últimas décadas vem contribuindo significativamente para o aumento excessivo de poluentes, que em geral não podem ser assimilados pela natureza.

Barcellos *et al.* (2009) afirma que a indústria têxtil se destaca dentre as indústrias responsáveis pela geração desses rejeitos, pois além de consumir grandes quantidades de água e de insumos químicos, gera grandes volumes de efluentes ricos em matéria orgânica e ainda fortemente tingidos pelos corantes que não se fixaram à fibra dos tecidos.

O lançamento de substâncias químicas com potencial de toxicidade nos sistemas podem dar cor e afetar o valor estético dos corpos d'água gerando interferência na penetração da luz solar no meio aquático retardando assim a fotossíntese e inibindo o crescimento da biota aquática. Além disso, ao longo do tempo, alguns contaminantes vão entrando na cadeia alimentar dos organismos, o que representa um enorme risco à saúde e à biodiversidade. Pesquisas têm mostrado que algumas classes de corantes podem causar irritação na pele, nas vias aéreas e, se ingeridos, podem gerar substâncias com propriedades carcinogênicas e mutagênicas (BAZZO, 2015).

A fim de controlar os problemas causados pelo descarte de efluentes industriais, minimizando os impactos ambientais, as legislações têm se tornado mais restritivas e isso tem motivado a comunidade científica a desenvolver pesquisas visando buscar novos métodos de tratamento para águas residuais industriais.

Deste modo, métodos de remoção de corantes têm recebido importante atenção nos últimos anos e as principais técnicas disponíveis na literatura envolvem, principalmente, precipitação, degradação química, eletroquímica e fotoquímica, biodegradação, adsorção e outros (GUARATINI e ZANONI, 1999).

Entre as possibilidades de tratamento de águas residuais o processo de adsorção se destaca, pois, tem sido considerado uma melhor técnica, se comparada com as demais, por possuir baixo custo, flexibilidade de operação e não sofrer influência da composição do efluente com relação a toxicidade e a degradabilidade (SANTOS, 2012).

O carvão ativado é o adsorvente mais adequado neste tratamento devido à sua ampla capacidade de adsorção decorrente de sua grande área superficial e sua estrutura microporosa. Contudo, Stroher *et al*. (2012) afirma que "o uso em grande escala de carvão ativado como adsorvente, eleva de forma significativa o custo final do tratamento". Nesse sentido, tem-se investigado vários adsorventes com eficiência no tratamento de águas residuais e que sejam de baixo custo, derivados de resíduos agrícolas, industriais ou materiais naturais como alternativa ao uso do carvão ativado.

Dessa forma, o tratamento de efluentes utilizando resíduos agrícolas e de agroindústrias vem sendo testado a fim de ajudar as empresas a se enquadrarem adequadamente aos padrões das leis ambientais vigentes, de tal modo que os resíduos gerados sejam aceitáveis pelos padrões exigidos, sem encarecer o processo produtivo, e, principalmente sem causar danos ambientais (SILVA, 2012).

Devido à contínua contaminação do meio ambiente pelos efluentes têxteis todos os procedimentos que visem um controle, prevenção e a recuperação de áreas contaminadas são importantes.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Produzir um pó obtido a partir da secagem do mesocarpo do coco verde e avaliar seu potencial como adsorvente para remoção do corante Tupy, cor bordô, de efluentes de indústria têxtil, por meio do estudo do planejamento experimental.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Secar o mesocarpo do coco verde.
- Elaborar e executar um planejamento experimental para avaliar a influência das condições operacionais do processo de adsorção de corantes têxteis sintéticos.
- Otimizar os parâmetros do processo de adsorção (massa, concentração, pH, tempo e temperatura).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 OS CORANTES E A INDÚSTRIA TÊXTIL

Segundo a Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção– ABIT (2016), o setor têxtil é o segundo maior empregador da indústria de transformação no Brasil e o quinto maior produtor têxtil do mundo, tendo produzido cerca de 1,7 milhões de toneladas de tecidos no ano de 2016.

Na indústria têxtil, o processo de tingimento é um dos fatores fundamentais para o êxito comercial dos produtos, em que o consumidor busca padronização e beleza da cor e exige características como elevado grau de fixação à luz, lavagem e transpiração, principalmente após uso prolongado. De forma a garantir essas propriedades, as substâncias que conferem coloração à fibra devem apresentar alta afinidade, uniformidade na coloração, resistência aos agentes desencadeadores do desbotamento e ainda apresentar-se economicamente viáveis (GUARATINI e ZANONI, 1999).

Os corantes têxteis utilizados atualmente nas indústrias são compostos orgânicos sintéticos e têm a finalidade de conferir coloração a determinadas fibras. Apresentam em sua estrutura dois componentes principais: o grupo cromóforo, conjunto de átomos que absorvem a radiação e confere coloração à fibra, devido as ligações duplas conjugadas como: nitro, nitroso, azo e carbonila e o grupo funcional que permite a fixação na fibra dos tecidos (VAGHETTI *et al.,*2009*).*

Conforme Guaratini e Zanoni (1999) os corantes podem ser classificados de acordo com a sua estrutura química ou pelo método de fixação à fibra têxtil. Os principais grupos de corantes classificados pelo modo de fixação são:

I) Corantes reativos – altamente solúveis em água e bem resistentes à lavagem, são aplicados principalmente às fibras celulósicas, proteicas e poliamida.

II) Corantes diretos - são compostos aniônicos, solúveis em água e adequados às fibras de celulose (algodão, viscose, couro). Uma grande vantagem desta classe de corantes é o alto grau de exaustão durante a aplicação e consequentemente diminuição do conteúdo do corante nas águas de rejeito.

III) Corantes azoicos - são compostos coloridos, insolúveis em água, que são realmente sintetizados sobre a fibra durante o processo de tingimento. Nesse processo a fibra (algodão, poliéster) é impregnada com um composto solúvel em água, conhecido como agente de acoplamento que apresenta alta afinidade por celulose.

IV) Corantes ácidos - grupo de corantes aniônicos portadores de um a três grupos sulfônicos, solúvel em água e pouco resistente à lavagem. Têm fundamental importância no método de aplicação do corante em fibras proteicas, como lã e seda, e em fibras de poliamida sintética.

V) Corantes à cuba - praticamente insolúveis em água, porém, durante o processo de tintura são reduzidos com ditionito, em solução alcalina, transformando-se em um composto solúvel. Este tipo de corante é aplicado, principalmente, a tintura de algodão, por possuir excelentes propriedades de fixação, entretanto, o custo desta classe de corantes é bastante alto.

VI) Corantes de enxofre - após a aplicação se caracterizam por compostos macromoleculares com pontes de polissulfetos, os quais são altamente insolúveis em água. Estes compostos têm sido utilizados, principalmente, na tintura de fibras celulósicas, conferindo cores preto, verde oliva, azul marinho, marrom, apresentando boa fixação. Entretanto, estes corantes usualmente apresentam resíduos altamente tóxicos.

VII) Corantes dispersivos - constituem uma classe de corantes pouco solúveis em água e bem resistentes à lavagem, são aplicados em fibras de celulose e outras fibras hidrofóbicas através de suspensão. Esta classe de corantes tem sido utilizada principalmente para tinturas de fibras sintéticas, tais como: *nylon*, fibras acrílicas, poliéster e acetato de celulose.

VIII) Corantes pré-metalizados - grupo de corantes aniônicos que são úteis, principalmente, para tintura de fibras proteicas e poliamidas, possuem baixa solubilidade e são bem resistentes à lavagem.

IX) Corantes branqueadores - as fibras têxteis no estado bruto apresentam como característica uma aparência amarelada e a diminuição dessa tonalidade tem sido realizada na indústria ou na lavanderia pela oxidação da fibra com alvejantes químicos ou utilizando os corantes brancos também denominados de branqueadores ópticos ou mesmo branqueadores fluorescentes.

Os corantes em contato com a água são visíveis a olho nu em concentrações muito baixas, como 1 $mg.L^{-1}$, e os efluentes têxteis, normalmente, possuem corantes em concentrações que variam de 10 a 200 $mg.L^{-1}$ o que confere alta coloração (GUARATINI e ZANONI, 1999). Além disso, os processos industriais deste setor consomem grandes volumes de água e de reagentes químicos durante os processos de tingimento gerando grandes quantidades de águas residuais, estima-se um consumo de 150 litros de água para a produção de um quilo de tecido, sendo 88% desse volume descartado como efluente líquido (LEÃO *et al.,* 2002).

O alto consumo de água exigido por essa tipologia industrial advém, principalmente, das operações de lavagem e beneficiamento de fios e tecidos e os efluentes líquidos gerados acabam possuindo inúmeras substâncias contaminantes que quando não retidos no substrato têxtil podem causar danos ao meio ambiente se não forem tratados corretamente.

Na Tabela 1 podem ser observados os valores aproximados para o consumo de água em função das etapas do processo da indústria têxtil.

Tabela 1- Consumo de água segundo as etapas do processo.

ETAPA	CONSUMO DE ÁGUA ($L.Kg^{-1}$)
Purga	19 – 43
Alvejamento	2,5 – 125
Mercerização	233 – 309
Tingimento:	
1. Básico	150 – 300
2. Direto	14 – 53,5
3. Naftol	19 – 140
4. Enxofre	24 – 214
5. A Cuba	8,5 – 167

Fonte: LEÃO *et al.* (2002).

Dessa forma, o tratamento inadequado dos efluentes têxteis, além de alterar a qualidade da água, pode oferecer riscos à estabilidade dos ecossistemas aquáticos e a saúde pública. Um dos grandes problemas ambientais enfrentados por esse setor, está relacionado ao tratamento e eliminação desses efluentes, considerando, que os mesmos apresentam diferentes grupos funcionais inclusive anéis aromáticos, que são bastante estáveis e de baixa biodegradabilidade (DURRANT, 2003).

Nesse contexto, as leis de controle ambiental vêm determinando limites cada vez mais rigorosos para os rejeitos que podem contaminar as águas, devendo as indústrias adequarem-se à nova realidade legal, tratando seus efluentes líquidos de forma a enquadrá-los conforme a Resolução CONAMA 430/2011que dispõe sobre a classificação dos corpos de água (BRASIL,

2011). A preocupação e as exigências com a qualidade e tratamento do ambiente atingido por efluentes contaminados leva a busca por novas alternativas de descoloração (DALTIN, 1996).

2.2 TRATAMENTOS MAIS UTILIZADOS PARA EFLUENTES TÊXTEIS

Os métodos para o tratamento de efluentes podem ser biológicos, químicos e/ou físicos como a precipitação, coagulação/floculação, adsorção, oxidação e tecnologias de membranas e todos eles têm suas vantagens e desvantagens. No entanto, devido ao alto custo, muitos dos métodos convencionais de tratamento de efluente não são aplicados em larga escala na indústria têxtil. Na prática, geralmente, se utiliza uma combinação de diferentes métodos a fim de se alcançar a qualidade desejada da água de forma mais econômica.

Segundo Moraes *et al.* (2000), os Processos Oxidativos Avançados (POA) apresentam boa eficiência para o tratamento de efluentes oriundos da indústria têxtil. Esses processos se caracterizam por transformar a grande maioria dos contaminantes orgânicos em dióxido de carbono, água e ânions inorgânicos, por meio de reações de degradação que envolvem espécies transitórias oxidantes, principalmente, o radical hidroxila. (DEZOTTI e RUSSO, 1998).

O tratamento por oxidação é mais utilizado para a descoloração de efluente, pois exige baixa quantidade de reagente e são relativamente rápidos e o ozônio é um poderoso agente oxidante quando comparado com outros agentes oxidantes conhecidos como H_2O_2 e pode reagir com diferentes classes de corantes por meio de reações diretas e indiretas (MORAES *et al.,* 2000).

A degradação de corantes têxteis utilizando processos biológicos podem ser aeróbios, anaeróbios ou aeróbio-anaeróbio e essa escolha dependerá do tipo de microrganismo empregado no tratamento. Estudos apontam que corantes azoicos não são degradados por bactérias aeróbias, mas podem ser descoloridos por tratamento anaeróbio. Os microrganismos anaeróbios são hábeis em degradar alguns corantes, no entanto, produzem aminas aromáticas que podem ser tóxicas e carcinogênicas (CHEN *et al*., 2003).

Os corantes têxteis são relativamente resistentes à degradação microbiana, portanto, apenas uma pequena parte destas é degradada nos sistemas de lodos ativados, já que estes corantes são projetados para resistir à degradação (YESILADA *et al*., 2003).

O tratamento biológico é uma alternativa bastante acessível economicamente se comparado a processos físicos ou químicos, no entanto, sua aplicação requer uma grande extensão de área o

que o torna ineficiente no que diz respeito aos corantes reativos e alguns corantes ácidos (LAMPERT *et al.,* 2007).

A tecnologia de filtração envolve microfiltrações, ultrafiltrações, nanofiltrações e osmose reversa e essas técnicas vêm sendo amplamente investigadas para a remoção da cor de efluentes. A microfiltração, a ultrafiltração e a nanofiltração são técnicas eficazes para a remoção de todas as classes de corantes. No entanto, inconvenientes como entupimento da membrana e elevado custo limitam sua aplicação no tratamento de efluentes industriais (KUNZ *et al*., 2002).

Já no processo de osmose reversa a fase aquosa é forçada a passar para o lado mais diluído do efluente, com o auxílio de uma membrana impermeável, reduzindo assim a concentração de contaminantes na fase aquosa. No entanto, as principais desvantagens desse processo são as altas pressões de trabalho, o significativo consumo de energia, o alto custo e o tempo de vida relativamente curto da membrana (KUNZ *et al.,* 2002).

Assim, não há um método universalmente utilizado para o tratamento de efluentes têxteis, provavelmente por causa da variedade de estruturas químicas e complexidade dos compostos. Dentre as alternativas existentes, para remoção de corantes têxteis dos efluentes industriais, o método de adsorção se destaca.

2.3 ADSORÇÃO

A adsorção é um processo de separação físico-químico em que o componente em uma fase líquida ou gasosa é transferido para uma superfície sólida. Os componentes que se unem à superfície são chamados de adsorvatos, enquanto que a fase sólida que retém o adsorvato é chamada de adsorvente (GEADA e DUARTE, 2006). O soluto adsorvido não se dissolve no sólido, mas permanece em sua superfície ou em seus poros. Essa interação entre o soluto e o adsorvente se dá por meio de ligações físicas ou químicas (FOUST *et al*., 2012).

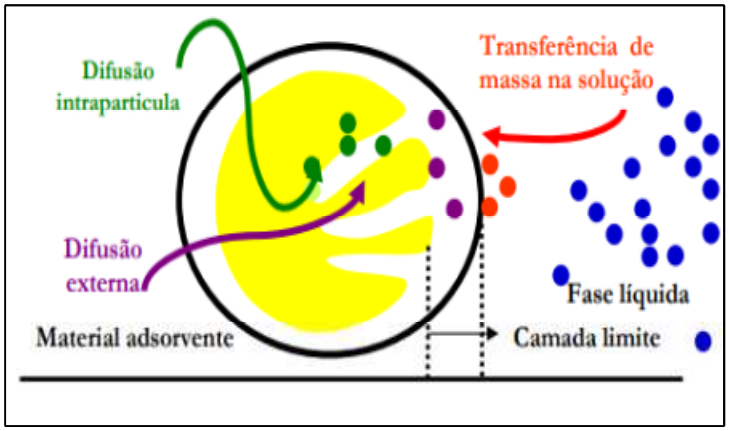
Segundo Do (1998) citado por Nascimento *et al.* (2014), os processos de separação por adsorção estão baseados no *mecanismo estérico* onde os poros do material adsorvente possuem dimensões características as quais permitem que determinadas moléculas possam entrar, excluindo as demais; nos *mecanismos de equilíbrio* que têm as habilidades dos diferentes sólidos para acomodar diferentes espécies de adsorvatos que são adsorvidos, preferencialmente, a outros

compostos e nos *mecanismos cinéticos* que estão baseados nas diferentes difusividades das diversas espécies nos poros adsorventes.

Normalmente, o adsorvente é composto de partículas que são empacotadas em um leito fixo, onde neste passa a fase fluida continuamente até que não haja mais transferência de massa. Além disso, quanto maior for a superfície do adsorvente, maior será a eficiência da adsorção. Por isso, geralmente os adsorventes são sólidos com partículas porosas (BORBA *et al.,* 2012).

Os mecanismos de transferência de massa envolvidos no processo de adsorção correspondem a difusão do soluto da fase líquida para a superfície do adsorvente, adsorção do soluto pelo adsorvente e a difusão do soluto nos poros do adsorvente (BORBA *et al.,* 2012). Essas etapas encontram-se ilustradas na Figura 1.

Figura 1 - Esquema das etapas de adsorção.



Fonte: OLIVEIRA (2007).

A adsorção pode ser classificada quanto a sua intensidade em dois tipos: adsorção física e adsorção química. Na adsorção física (fisissorção), o adsorvato liga-se à superfície do adsorvente por meio de uma interação que pode ser atribuída às forças de Van der Waalls, já na adsorção química ou quimissorção ocorre uma troca de elétrons entre as moléculas do adsorvato e a superfície do adsorvente, resultando em uma reação química. Isso resulta essencialmente numa nova ligação química e, portanto, bem mais forte que no caso da fisissorção (NASCIMENTO *et al*., 2014).

Esses dois processos não são completamente independentes e em certas ocasiões os dois tipos podem ocorrer simultaneamente. Na Tabela 2 podem ser observados os aspectos que diferenciam à adsorção química de uma adsorção física.

Tabela 2 - Diferenças entre o processo de quimissorção e fisissorção.

FISISSORÇÃO	QUIMISSORÇÃO
Forças de Van der Waals	Forças comparáveis às ligações químicas
Calor de adsorção inferior a 20 $Kj.mol^{-1}$	Calor de adsorção superior a 20 $Kj.mol^{-1}$
A espécie adsorvida conserva sua natureza	A espécie adsorvida sofre uma transformação e origina-se uma espécie diferente
A quantidade adsorvida depende mais do adsorvato do que o adsorvente	A quantidade adsorvida depende tanto do adsorvato como do adsorvente
Especificidade baixa	Especificidade elevada
Adsorção apreciável somente abaixo do ponto de ebulição do adsorvato	Adsorção pode acontecer a temperaturas elevadas
Energia de ativação baixa	Energia de ativação elevada
Adsorção pode acontecer em multicamadas	Adsorção somente em monocamadas

Fonte: DO (1998).

Dentre os métodos existentes para o tratamento de efluentes têxteis, a adsorção normalmente é a mais utilizada para fins de separação e purificação, tendo como uma importante aplicação a remoção de cor e poluentes orgânicos de efluentes industriais (INCE e APIKYAN, 2000). Polaert *et al.* (2002) afirma que essa técnica pode ser considerada bastante eficiente para remoção de contaminantes dos efluentes têxteis.

O carvão ativado é o adsorvente mais conhecido na adsorção convencional, apresentando significativos resultados na remoção dos mais diferentes tipos de materiais coloridos. No entanto, a dificuldade na regeneração e necessidade de disposição ou incineração acarreta a oneração do processo. Por isso, adsorventes alternativos de baixo custo têm despertado interesse e são avaliados em diversos estudos (CRINI, 2008).

2.3.1 Fatores que Influenciam o Processo de Adsorção

Um dos fatores que determina a eficiência de um processo de adsorção é a escolha adequada de um adsorvente, onde se faz necessário levar em consideração a sua capacidade de adsorção, sua disponibilidade, custo e o tamanho dos poros do adsorvente, uma vez que o adsorvato só pode ser retido na superfície do adsorvente ou se difundir pelos poros destes (MACHADO, 2012).

De acordo com Machado (2012) as propriedades texturais dos adsorventes como área superficial e específica, volume e tamanho dos poros ou distribuição de volume de poros são fatores extremamente importantes no processo de adsorção. Além disso, o tamanho de poros que fornece a maior capacidade de adsorção está relacionado com as dimensões das moléculas do adsorvato (KRUPPA e CANNON, 1996).

No entanto, não é apenas a escolha do adsorvente que interfere no processo de adsorção, pois a descoloração do efluente é resultado tanto da adsorção quanto da troca iônica (sítios com cargas no adsorvente) e sofre influência de fatores físico-químicos como potencial hidrogeniônico (pH), tempo de contato entre o adsorvente e o adsorvato, a concentração inicial de adsorvato e a temperatura (AL-DEGS *et al.,* 2000).

O pH da solução é um dos fatores mais importantes nos estudos de adsorção, pois exerce influência sobre o processo global e na capacidade de adsorção. Um parâmetro útil que indica se a superfície irá se tornar positivamente ou negativamente carregada em função do pH requerido para que a carga líquida do adsorvente seja nula, é o potencial de carga zero (pH_{ZPC}). Caso os valores do pH sejam superiores ao $pH_{ZPC,}$ a carga superficial é negativa e a adsorção dos cátions é favorecida, no entanto, se os valores do pH forem menores que o pH_{ZPC}a carga superficial é positiva e a adsorção dos ânions é favorecida (AL-DEGS *et al.,* 2000).

A concentração inicial do corante tem significativa importância uma vez que em adsorventes com baixa capacidade de adsorção, o aumento da concentração inicial leva a um aumento da quantidade adsorvida (q) e a uma diminuição na porcentagem de remoção (McKAY, 1982). Além disso, o aumento da temperatura pode acarretar um aumento na energia cinética, na mobilidade das moléculas do corante e na taxa de difusão do adsorvato. Portanto, a alteração na temperatura de um processo de adsorção conduz a uma mudança na capacidade de adsorção.

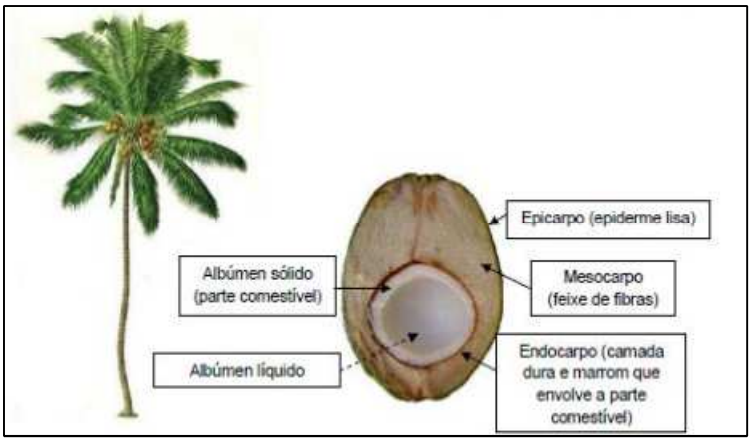
2.4 MESOCARPO DO COCO VERDE

A espécie *Cocos nucifera L.,* mais conhecida como coco verde, é uma palmeira tropical da classe das oleaginosas, de origem asiática e utilizada como fonte de alimentação, artesanato, combustível (PORROTTA, 1993).

O coco verde é constituído por um interior oco, onde se encontra o albúmen líquido (água), que vai progressivamente se transformando em albúmen sólido. Este é envolvido pelo endocarpo (parte mais dura), a que se sucede o mesocarpo (casca) que constitui a maior parte do fruto, e finalmente um fino epicarpo, geralmente de cor verde, amarela ou marrom (ARAGÃO, 2002).

A Figura 2 ilustra uma imagem do coco verde e suas respectivas partes descritas anteriormente:

Figura 2 - Morfologia do coco verde ilustrando as principais partes do fruto.



Fonte: BENASSI (2006).

As cascas do coco verde quando descartadas nos aterros e lixões são potenciais emissores de gases e podem contribuir para que a vida útil desses depósitos seja diminuída, proliferando focos de vetores transmissores de doenças, mau cheiro, possíveis contaminações do solo e corpos d'água, além da inevitável destruição da paisagem urbana. Paralelo a isto, a oferta de coco verde no mercado tem demonstrado expressivo crescimento dos plantios nos últimos cinco anos (ROSA *et al.,* 2001).

Tradicionalmente, a região de cultivo de coqueiros no Brasil se estende ao longo da costa brasileira entre os estados do Rio de Janeiro e Pará, com um destaque especial para os estados nordestinos, onde concentram-se a maior área cultivada e a maior produção brasileira de frutos,

cerca de 80,73% do total da área colhida de coco e, 68,91% do valor total do coco produzido do Brasil, tendo o Município de Estância, em Sergipe, como maior representante. Os cinco principais estados brasileiros produtores de coco são: Bahia, Ceará, Sergipe, Pará e Alagoas (IBGE, 2016).

Tratando-se da estrutura do coco verde, cerca de 85% são resíduos e descartar esse material em aterros sanitários pode ser encarado como um desperdício, visto que o resíduo do coco é um material nobre que pode ser aproveitado de diferentes formas, como na indústria de tintas, na indústria automobilística, na indústria da construção civil com carga para preparação de alguns tipos de cimento, na produção de briquetes para geração de energia (SENHORAS, 2004).

Neste sentido, o desenvolvimento de alternativas para o aproveitamento da casca do coco verde possibilita a redução da disposição desses resíduos em aterros sanitários, com isso, estudos vêm sendo conduzidos com o objetivo de avaliar o potencial do pó da casca de coco verde como adsorvente de corantes.

Segundo Carrijo *et al*. (2002), a utilização do coco verde como material adsorvente apresenta grande potencial devido a seu elevado teor de matéria orgânica composta principalmente por lignina (35% a 45%) e celulose (23% a 43%).

Na Tabela 3 estão descritas as composições químicas da casca de coco e da fibra do coco, que são os resíduos do coco.

Tabela 3 - Composição química da casca de coco e da fibra de coco.

Tipo de fibra	Composição química							
	Lignina	Cinza	Glicose	L-Arabiose	Galactose	L-ramose	Xilose	Manose
Pó de coco	35,72	-	25,91	0,29	0,32	0,21	23,93	0
Fibra de coco	33,50	-	34,87	0,05	0,36	0,16	16,98	0,12

Fonte: HAN (2000).

Com relação à composição da fibra do coco verde verifica-se que este é constituído basicamente de celulose e lignina, o que segundo Carrijo (2002) confere a este material um forte potencial de uso como bioadsorvente, em que tanto a fibra quanto o pó de coco são um excelente material orgânico, devido às propriedades de retenção de água, aeração do meio de cultivo e estimulador de enraizamento. A facilidade de produção, baixo custo e alta disponibilidade são outras vantagens adicionais apresentadas por estes materiais.

A escolha do mesocarpo de coco verde, neste trabalho, se justifica pelo fato desta biomassa possuir características favoráveis que podem contribuir para este ser um bom adsorvente na remoção de corantes têxteis em efluentes. Assim, a utilização deste material pode ser uma excelente alternativa, como forma de reaproveitamento de resíduos agrícolas gerados.

3 METODOLOGIA

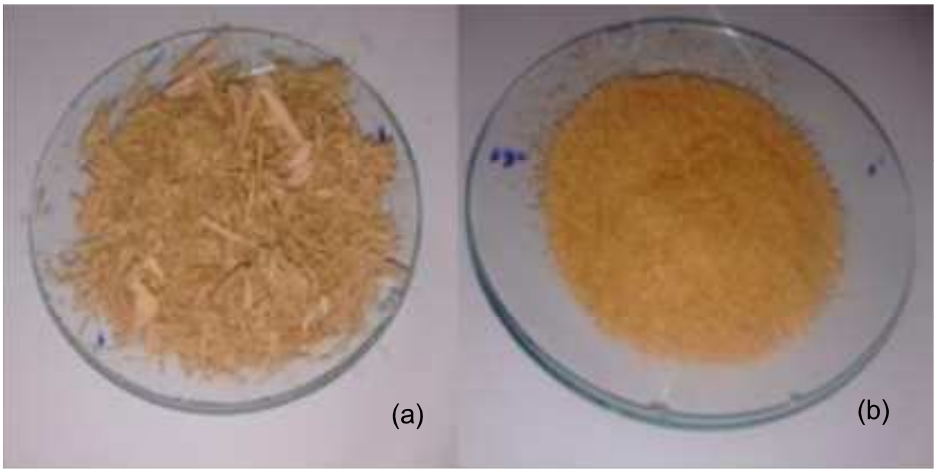
Neste capítulo são abordados os tópicos referentes aos materiais utilizados na produção da biomassa a partir da secagem do mesocarpo do coco verde, bem como os equipamentos e métodos aplicados à sua caracterização. Além disso, encontram-se as discussões empregadas no estudo das variáveis significativas do processo de obtenção do adsorvente e da sua aplicação na remoção de um corante têxtil de uso comercial Tupy – cor bordô.

3.1 PREPARO DA BIOMASSA

A análise de remoção do corante Tupy, cor bordô, pelo mesocarpo do coco verde foi desenvolvida no Laboratório de Pesquisa em Ciências Ambientais (LAPECA) pertencente ao Centro de Ciências e Tecnologia (CCT) da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB).

A biomassa utilizada neste trabalho foi o mesocarpo do coco verde, coletado em depósitos de lixo de lanchonetes e restaurantes na cidade de Campina Grande - PB. Após a coleta, realizou-se a separação do mesocarpo das demais camadas do coco, cortando-o em pedaços uniformes e posto para secar a 60°C em estufa convencional de secagem de marca Odontobras, modelo 1.0. Em seguida, o mesocarpo foi triturado e classificado (Figura 3) através de uma peneira de análise granulométrica de 0,250 mm (Tyler 60).

Figura 3 - Mesocarpo do coco verde após triturado (a) e peneirado (b).



Fonte: Própria autoria (2017).

3.2 PREPARO DO ADSORVATO

Para a realização dos experimentos de adsorção foram preparadas soluções estoque contendo 2.000 $mg.L^{-1}$ do corante Tupy de cor bordô. A partir desta solução estoque foram preparadas soluções de trabalho com diluições em água destilada.

Inicialmente determinou-se o comprimento de onda no qual o composto a ser quantificado absorve o máximo de radiação. Isto foi realizado mediante varredura no espectro na faixa de 450nm a 530nm. A absorbância máxima foi obtida no comprimento de onda de 520nm. Em seguida foi construída uma curva de calibração utilizando solução de corante Tupy com diferentes concentrações num intervalo de 0 a 200 $mg.L^{-1}$.

3.3 CONSTRUÇÃO DA CURVA DE CALIBRAÇÃO

Para o desenvolvimento das etapas do experimento foi necessário inicialmente construir uma curva de calibração, sendo determinada a partir do comprimento de onda o qual houvesse a maior absorção. Partindo da solução estoque foi preparado uma solução com 100 $mg.L^{-1}$, essa solução foi utilizada a fim de ser encontrada a absorbância máxima. Nessa etapa foram utilizados comprimentos de onda entre 450 e 530 nm, com intervalos de 20 nm, obtendo-se valores para absorbância descritos na Tabela 4:

Tabela 4 - Absorbância adquirida para comprimento de onda entre 450 e 530 nm com intervalo de 20 nm.

γ (nm)	ABSORBÂNCIA
450	0,257
470	0,355
490	0,481
510	0,575
530	0,568

Fonte: Própria autoria (2017).

Após a verificação do intervalo em que a absorbância apresentou o maior valor, o intervalo foi dividido para 10 nm a fim de se obter resultados mais precisos para determinação do comprimento de onda, conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 - Valores obtidos para a absorbância.

CONCENTRAÇÃO DE 200 mg.L^{-1}	
Λ	**ABSORBÂNCIA**
490	0,481
500	0,542
510	0,575
520	0,586
530	0,568

Fonte: Própria autoria (2017).

Com o intuito de aprimorar ainda mais o intervalo de determinação do comprimento de onda, os intervalos foram divididos de 5 em 5 nm e foi possível observar que o comprimento de onda que obteve a melhor absorbância foi o de 520 nm. Portanto, para a curva de calibração foi utilizado o comprimento de onda de 520 nm com as concentrações variando de 20 a 200 mg.L^{-1} em intervalos de 20 mg.L^{-1}, conforme podemos observar na Tabela 6.

Tabela 6 - Valores da absorbância para diferentes diluições.

SOLUÇÃO	CONCENTRAÇÃO (mg.L^{-1})	ABSORBÂNCIA
S1	200	0.474
S2	180	0.422
S3	160	0.374
S4	140	0.334
S5	120	0.285
S6	100	0.250
S7	80	0.196
S8	60	0.145
S9	40	0.085
S10	20	0.050

Fonte: Própria autoria (2017).

Em seguida foi construída uma curva de calibração, $C_{corante}$ versus Absorbância, ilustrada na Figura 5, em que foi possível obter a equação da reta gerada pela curva de calibração conforme descrita na Equação 1.

$$C_f = 423{,}93.C_i - 0{,}8582 \quad (1)$$

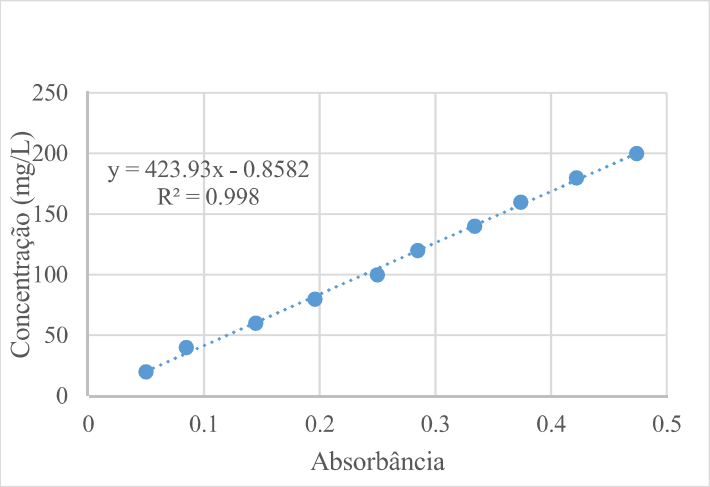
Em que:

C_f: absorbância do corante medida no espectrofotômetro.

C_i: concentração de equilíbrio do corante na fase fluida ($mg.L^{-1}$).

Na Figura 4 encontra-se a curva de calibração obtida a partir do comprimento de onda de 520 nm.

Figura 4 - Curva de calibração obtida a partir do comprimento de onda de 520 nm.



Fonte: Própria autoria (2017).

3.4 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

Com o intuito de avaliar o processo de adsorção do mesocarpo do coco verde foi empregada a técnica de planejamento experimental, do tipo fatorial em todas as possíveis combinações de níveis dos fatores e cada um desses experimentos em que o sistema em estudo é submetido a um conjunto de níveis definido é um ensaio experimental.

Foram avaliadas as influências da massa do material adsorvente, do tempo de mistura, da concentração e do pH das soluções do corante Tupy, para um volume de 25 mL de solução de corante, de acordo com os valores descritos na Tabela 7.

Tabela 7 - Variáveis e níveis estudados no planejamento fatorial completo 24.

VARIÁVEIS	NÍVEIS		
	INFERIOR (-)	CENTRAL (0)	SUPERIOR (+)
Massa adsorvente (g)	0,2	0,3	0,4
Concentração do corante ($mg.L^{-1}$)	100	150	200
Tempo (min)	30	45	60
pH	4	5	6

Fonte: Própria autoria (2017).

Dessa forma foi realizado um planejamento fatorial completo 2^4, acrescido de 1 ponto central realizado em triplicata, totalizando 19 experimentos (Tabela 8).

Tabela 8 - Matriz de planejamento fatorial aplicado ao estudo de remoção de corantes em efluentes têxteis.

EXPERIMENTO	MASSA ADSORVENTE (g)	CONCENTRAÇÃO DO CORANTE ($mg.L^{-1}$)	TEMPO (min)	pH
1	0,2	100	30	4
2	0,4	100	30	4
3	0,2	200	30	4
4	0,4	200	30	4
5	0,2	100	60	4
6	0,4	100	60	4
7	0,2	200	60	4
8	0,4	200	60	4
9	0,2	100	30	6
10	0,4	100	30	6
11	0,2	200	30	6
12	0,4	200	30	6
13	0,2	100	60	6
14	0,4	100	60	6
15	0,2	200	60	6
16	0,4	200	60	6
17	0,3	150	45	5
18	0,3	150	45	5
19	0,3	150	45	5

Fonte: Própria autoria (2017).

Como parâmetros de análise foram utilizados a determinação da quantidade adsorvida (qt) e o percentual de remoção (%Red). A influência dos parâmetros em estudo foi calculada por meio

de análises estatísticas, utilizando o *software* STATISTICA, disponibilizado pelo Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental (PPGCTA/UEPB).

3.5 PORCENTAGEM DE REDUÇÃO (%Red)

A porcentagem de redução (%Red) foi obtida utilizando a Equação 2.

$$\%Red = \left(\frac{Co - Cf}{Co}\right) * 100 \quad (2)$$

3.6 QUANTIDADE DE CORANTE ADSORVIDO

A quantidade de corante adsorvido por massa de adsorvente foi calculada por meio da Equação 3:

$$qt = \left(\frac{(Co - Cf) * V}{m}\right) \quad (3)$$

Em que:

Co: concentração da solução inicial (corante).

Cf: concentração final (corante) após um determinado tempo de contato especificado.

V: volume do adsorvato.

M: massa do adsorvente.

Leal (2003) afirma que o mesocarpo de coco verde não se apresenta com uma capacidade de adsorção máxima alta quando comparado com os outros adsorventes, principalmente os comerciais, mas o mesmo conseguiu remover em torno de 88% de corante obtendo uma capacidade máxima de adsorção de 2,93 $mg.g^{-1}$ numa concentração de 70 $mg.L^{-1}$, em 120 minutos e com um custo baixo, considerando que o mesocarpo do coco é facilmente encontrado no litoral do nordeste brasileiro.

Rocha *et al.* (2012) obteve em seu trabalho, para o planejamento fatorial, uma capacidade máxima de adsorção de 18,7 $mg.g^{-1}$ obtido para o nível 0,1g do adsorvente, granulometria < 0,419 mm e rotação 300 rpm, também fazendo uso do mesocarpo do coco verde.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referentes à quantidade de corante adsorvido (mg) por massa de adsorvente (g) e redução de corante Tupy após o processo de adsorção (%Red) obtidos nos ensaios do planejamento experimental, por meio do adsorvente de mesocarpo de coco verde, estão mostrados na Tabela 9. Vale salientar que essa quantidade é a média obtida a partir dos resultados em triplicata.

A partir dos resultados obtidos foi possível observar que a combinação adsorvente/adsorbato mais eficaz no processo de adsorção é a que apresenta massa do adsorvente de 0,2 mg, concentração do corante de 200 $mg.L^{-1}$, tempo de agitação de 60 minutos e pH 4, comprovado pela faixa de redução de 53,37%, sendo a maior dentre os experimentos.

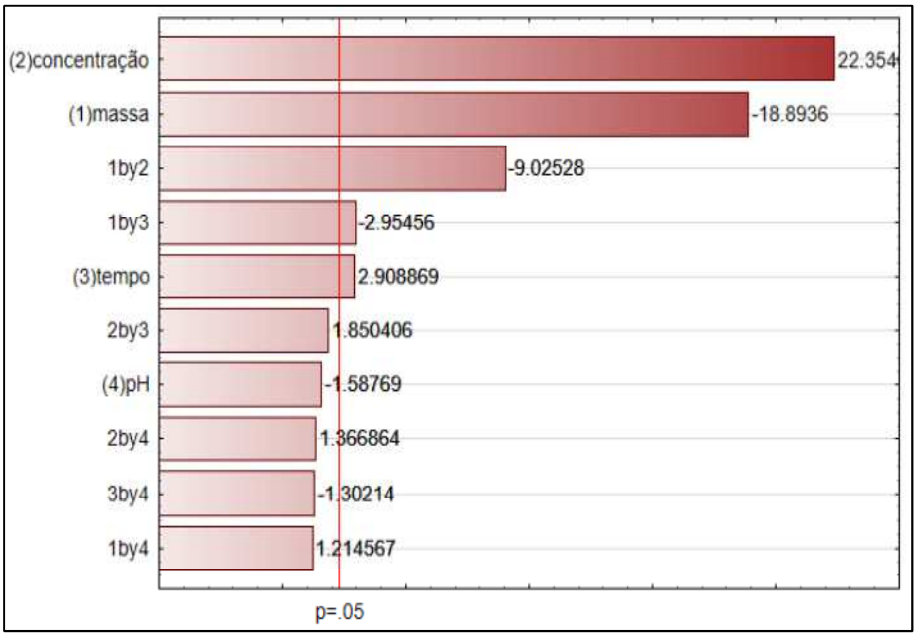
Tabela 9 - Quantidade de corante adsorvido (mg) por massa de adsorvente (g) e redução do corante em %.

EXPERIMENTO	MASSA ADSORVENTE (g)	CONCENTRAÇÃO ($mg.L^{-1}$)	TEMPO (min)	pH	qt ($mg.g^{-1}$)	%Red
1	0,2	100	30	4	4,34	34,69
2	0,4	100	30	4	1,92	30,70
3	0,2	200	30	4	10,15	40,61
4	0,4	200	30	4	4,62	36,94
5	0,2	100	60	4	4,91	39,27
6	0,4	100	60	4	1,78	28,47
7	0,2	200	60	4	13,34	53,37
8	0,4	200	60	4	5,05	40,40
9	0,2	100	30	6	3,04	24,36
10	0,4	100	30	6	1,71	27,35
11	0,2	200	30	6	11,03	44,13
12	0,4	200	30	6	4,96	39,70
13	0,2	100	60	6	3,98	31,87
14	0,4	100	60	6	1,36	21,72
15	0,2	200	60	6	11,98	47,92
16	0,4	200	60	6	4,98	39,82
17	0,3	150	45	5	5,15	41,20
18	0,3	150	45	5	5,04	40,34
19	0,3	150	45	5	4,98	39,87

Fonte: Própria autoria (2017).

A Figura 5 representada pelo gráfico de Pareto apresenta as influências das variáveis independentes (massa, concentração, pH e tempo) na variável resposta (quantidade de corante adsorvida – qt).

Figura 5 - Gráfico de Pareto - efeitos para quantidade adsorvida (qt).



Fonte: Própria autoria (2017).

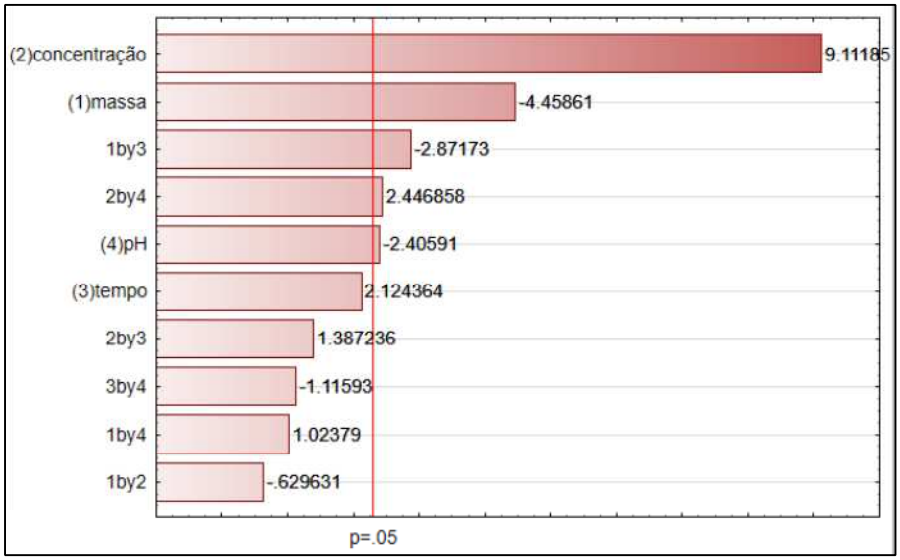
Os cálculos dos efeitos dos fatores e as interações entre eles demonstraram que apenas os efeitos principais concentração, tempo e massa do adsorvente e os efeitos de interação entre massa do adsorvente *versus* concentração e massa *versus* tempo de contato são significativos nos níveis estudados.

O valor do efeito principal massa foi negativo, ou seja, elevando-se a massa do adsorvente de 0,2 para 0,4 g ocorrerá uma diminuição na quantidade adsorvida.

Os valores dos efeitos principais concentração do adsorvente e tempo de contato foram positivos, o que significa que a medida em que se aumenta a concentração de 100 para 200 $mg.L^{-1}$ a resposta da quantidade adsorvida aumenta, o mesmo ocorre quando se aumenta o tempo de contato de 30 para 60 minutos.

Na Figura 6 está representado o gráfico de Pareto apresentando os resultados dos efeitos dos parâmetros concentração, massa, pH e tempo sobre a porcentagem de redução de corante (%Red).

Figura 6 - Gráfico de Pareto - efeitos para redução (%red).



Fonte: Própria autoria (2017).

Tratando-se da porcentagem de redução de corante, os cálculos dos efeitos dos fatores e as interações entre eles demonstraram que apenas os efeitos principais concentração, pH e massa do adsorvente e os efeitos de interação entre massa do adsorvente *versus* tempo de contato e concentração *versus* pH são significativos nos níveis estudados.

A partir dos dados experimentais foi obtido um modelo empírico (Equação 4), por meio do *software* STATISTICA, capaz de prever a quantidade adsorvida (qt) do mesocarpo do coco verde para o corante Tupy, dentro do intervalo de estudo.

$$qt = -4{,}5232 + 0{,}0892 * c - 0{,}2174 * m * c - 0{,}2372 * m * t \quad (4)$$

Em que:

qt: quantidade adsorvida ($mg.g^{-1}$).

c: concentração ($mg.L^{-1}$).

m: massa do adsorvente (g).

t: tempo (min).

Observa-se pela Equação 4 que o segundo termo representou uma influência positiva da quantidade de concentração do corante sobre a quantidade adsorvida, ou seja, à medida que se

aumenta a concentração de corante obtém-se um elevado valor de *qt*. Este fato pode ser observado pelo fato do trabalho ter sido desenvolvido dentro da faixa de condições ótimas.

Nas Tabelas 10 e 11 são apresentados os parâmetros da análise de variância para os ajustes do modelo tendo como variáveis dependentes a quantidade de corante adsorvida e o percentual de redução de corante, respectivamente, podendo verificar se o modelo proposto é significativo, preditivo ou se apresenta falta de ajuste.

Tabela 10 - ANOVA e coeficiente de determinação do planejamento fatorial tendo como variável dependente a qt.

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA QUADRÁTICA	GRAUS DE LIBERDADE	MÉDIA QUADRÁTICA	Fcalc (95%)	Ftab (95%)	Fcalc/Ftab	R^2
Regressão	224,2672	15	14,9511	24,16	3,28738	**7,35**	
Resíduo	1,8566	3	0,6189				
Falta de ajuste	1,8424	1	1,8424	259,49			
Erro Puro	0,0142	2	0,0071				
Total	226,1238	18					0,9917

Fonte: Própria autoria (2017).

Tabela 11 - ANOVA e coeficiente de determinação do planejamento fatorial tendo como variável dependente o percentual de redução do corante (%Red).

FONTE DE VARIAÇÃO	SOMA QUADRÁTICA	GRAUS DE LIBERDADE	MÉDIA QUADRÁTICA	Fcalc (95%)	Ftab (95%)	Fcalc/Ftab	R^2
Regressão	1095,109	15	73,0071	3,33	3,287	**1,01**	
Resíduo	65,738	3	21,9127				
Falta de ajuste	64,827	1	64,8300	142,32			
Erro Puro	0,911	2	0,4555				
Total	1160,847	18					0,9428

Fonte: Própria autoria (2017).

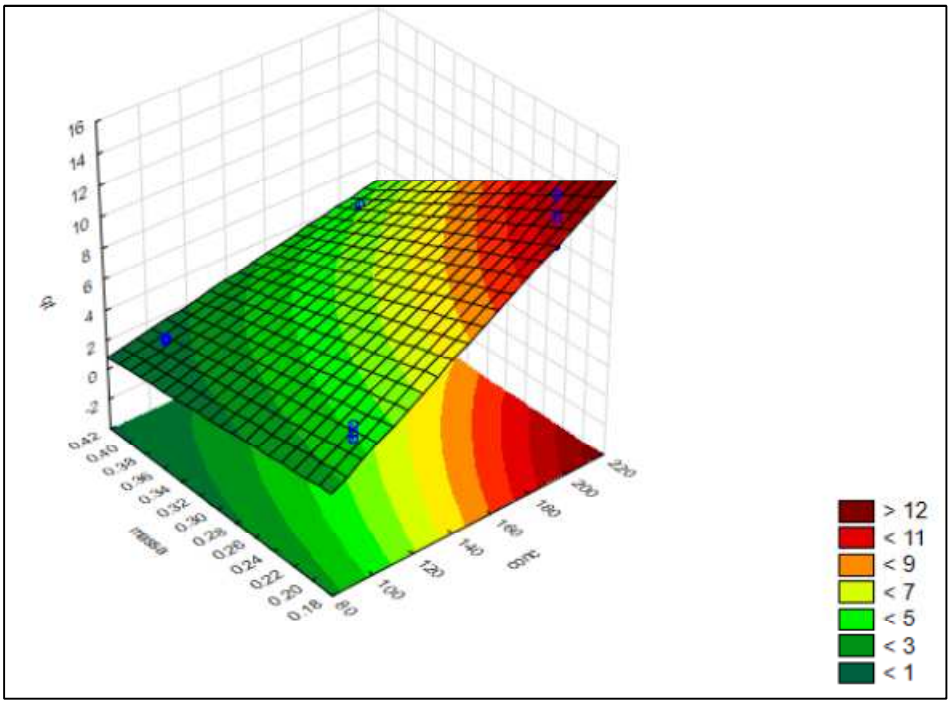
Comparando os valores de $F_{calculado}$ e $F_{tabelado}$ verifica-se que o modelo para resposta de qt é estatisticamente significativo, pois a razão $F_{calculado}$ por $F_{tabelado}$ para regressão está acima de 1, em

ambos os casos, ao nível de confiança de 95%. Portanto, o modelo proposto é válido para o processo de adsorção de corantes têxteis.

Mesmo o modelo sendo significativo, ele não é preditivo, pois, a razão $F_{calculado}$ por $F_{tabelado}$ para a regressão não deu maior que 10, portanto, o modelo não é significativo para realizar previsões.

Devido ao modelo ser estatisticamente significativo, pode-se assim, construir a superfície de resposta para análise das faixas ótimas de operação das variáveis de entrada que maximizem a resposta em estudo (Figura 7).

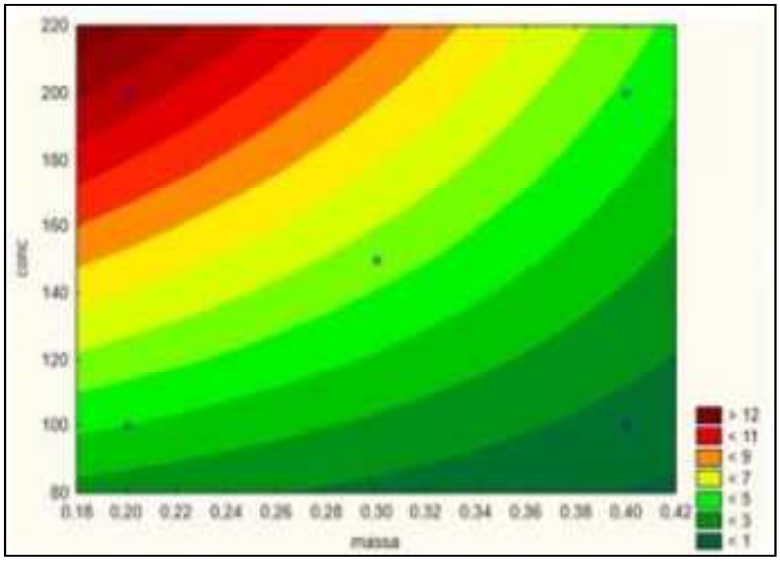
Figura 7 - Superfície de resposta para qt.



Fonte: Própria autoria (2017).

Curvas de contorno também foram construídas no intuito de facilitar o entendimento do processo, objetivando saber como e quais parâmetros afetam significativamente a adsorção como pode ser observado nas Figuras 8, 9, 10 e 11.

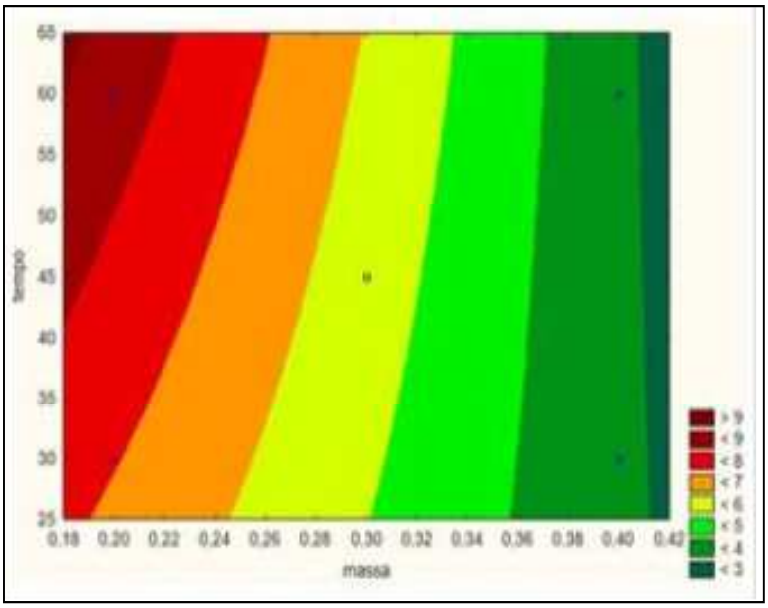
Figura 8 - Gráfico de contorno para qt – relação massa versus concentração.



Fonte: Própria autoria (2017).

Na Figura 9 estão representadas as curvas de contorno com relação massa/concentração, nas quais foi possível constatar que a maior quantidade adsorvida (qt) pode ser obtida para maiores valores de concentração e menores valores de massa do adsorvente.

Figura 9 - Gráfico de contorno para qt – relação massa versus tempo.

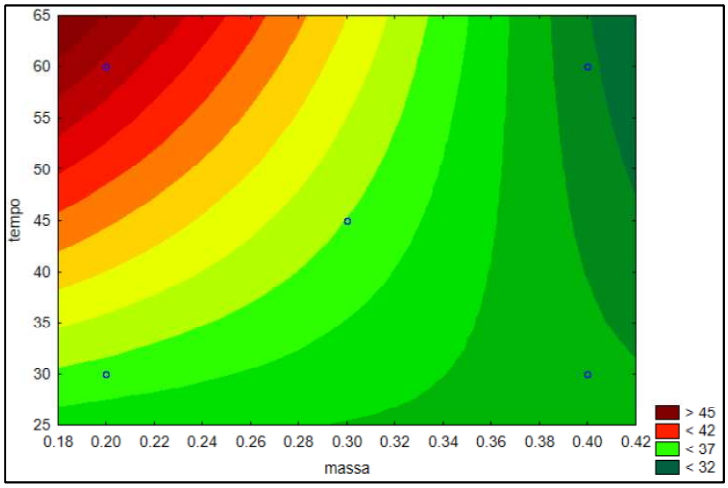


Fonte: Própria autoria (2017).

É importante mencionar que a relação massa *versus* tempo, apresentado na Figura 10, também foi significativa para a remoção do efluente, no entanto em menor quantidade que a relação massa *versus* concentração.

Na Figura 10 estão apresentadas as curvas de contorno com relação massa/tempo, verificando que a maior porcentagem de redução do corante ocorre para maiores tempos de contato e menores quantidades de massa do adsorvente.

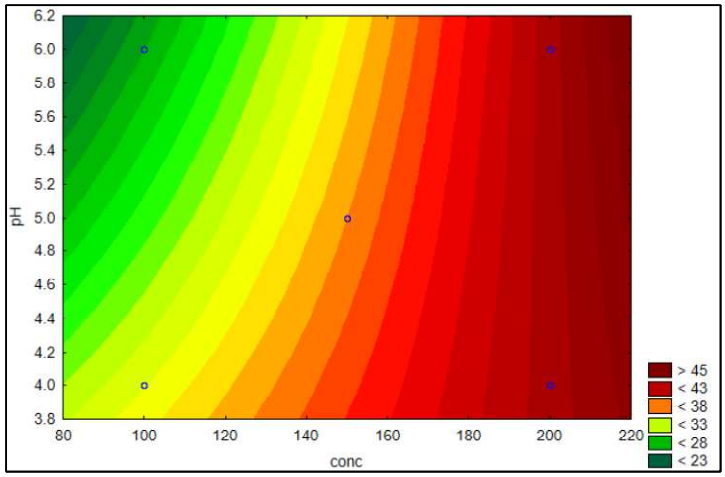
Figura 10 - Gráfico de contorno para %Red – relação massa versus tempo.



Fonte: Própria autoria (2017).

Na Figura 11 está ilustrado a influência do pH sobre a adsorção de corantes.

Figura 11 - Gráfico de contorno para %Red – relação concentração versus pH.



Fonte: Própria autoria (2017).

Embora o pH tenha bastante influência sobre a adsorção de corantes, como verificado em várias literaturas, como a faixa de pH utilizada nos experimentos foi pequena a influência sobre a remoção do corante não foi tão significante.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na secagem do mesocarpo do coco verde, em estufa com circulação de ar forçada, a temperatura de 60ºC foi ideal para o processo de secagem tornando o produto final com melhores características para o uso no processo de adsorção.

Após a realização do processo de secagem do mesocarpo do coco verde e de sua aplicação na remoção do corante têxtil Tupy, cor bordô, verificamos que o pó do mesocarpo é um adsorvente eficaz e tem um grande potencial de adsorção no tratamento de efluentes contendo corantes têxteis. A eficiência, para concentrações de 200 $mg.L^{-1}$, pode alcançar até 53,37% de remoção do corante em curto tempo de contato (60 minutos).

A absorbância máxima do corante Tupy ocorreu no comprimento de onda máximo igual a 520 nm e pelo método de planejamento experimental pode-se concluir que as variáveis que mais influenciam no processo de adsorção são a concentração do corante, a massa do adsorvente e o tempo de contato. As melhores relações entre a remoção do corante e a capacidade de adsorção do adsorvente foram obtidas quando o valor da concentração do corante foi igual a 200 $mg.L^{-1}$, o valor da massa do adsorvente igual a 0,2 g em um tempo de 60 minutos.

A partir de todas essas observações podemos concluir que a farinha do mesocarpo do coco verde em condições operacionais controladas mostrou-se um adsorvente atrativo, por se tratar de um resíduo de fácil obtenção e manipulação, além de apresentar boa capacidade de remoção do corante têxtil Tupy bordô, em torno de 53% de eficiência na redução do corante.

REFERÊNCIAS

ABIT – **Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção**. Brasília. 2016. Disponível em: <www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>. Acesso em 11 de abr. 2017.

AL-DEGS, Y.; KHRAISHEH, M. A. M.; ALLEN, S. J.; AHMAD, M. N. Effect of carbon surface chemistry on the removal of reactive dyes from textile effluent. **Water Research**, v. 34, n. 3, p. 927-935, 2000.

ARAGÃO, W. M. **Coco: Pós-colheita. Série Frutas do Brasil**. EMBRAPA: Brasília, 2002.

BARCELLOS, I. O.; GIOVANELLA, R. F.; CHIARELLO, L. M.; BLOSFELD, A. M. Remoção de cor de soluções de corantes reativos com cinza de casca de arroz. **Dynamis Revista Técnico Científica**, n. 2, v. 15, p. 1-6, 2009.

BAZZO, A. **Aplicação e caracterização do caroço de abacate (*Persea americana mil*) como adsorvente na remoção do corante violeta cristal**. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 71 p. Porto Alegre, RS, 2015.

BENASSI, A. C. **Caracterizações biométrica, química e sensorial de frutos de coqueiro variedade Anã Verde.** Tese (Doutorado em Produção Vegetal). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, 98 p. Jaboticabal, SP, 2006.

BORBA, C. E.; MÓDENES, A. N., BORBA, F. H., BASSI, A. F. Estudo da cinética e do equilíbrio de adsorção dos corantes azul turquesa QG e amarelo reativo 3R em carvão ativado. **Engevista**, v. 14, n. 2, p. 135-142, ago. 2012.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA 430/2011**, de 13 de maio de 2011.

CARRIJO, O. A; LIZ, R. S.; MAKISHIMA, N. Fibra da casca do coco verde como substrato agrícola. **Horticultura Brasileira**, v. 20, n. 4, p. 533-535, 2002.

CHEN, K. U.; JANE, Y. W.; LIOU, D. J.; HWANG, S. C. J. Decolorization of the textile dyes by newly isolated bacterial strains. **Journal of Biotechnology**, v. 101, p. 57-68, 2003.

CRINI, G. Kinetic and equilibrium studies on the removal of cationic dyes from aqueous solution by adsorption on a cyclodextrin polymer**. Dyes and Pigment**, 77, 415-426, 2008.

DALTIN, D. A. A química do processamento têxtil. **Química Nova** (Impresso), v. 19, p. 320-330, 1996.

DEZOTTI, M.; RUSSO, C. **Técnicas de controle ambiental em efluentes líquidos.** Escola Piloto de Engenharia Química, COPPE, Rio de Janeiro, 1998.

DO, D. D. **Adsorption analysis: equilibria and Kinetics.** London: Imperial College Press, 1998.

DURRANT, L. R. Fungos e bactérias degradam corantes poluidores. **Jornal da Unicamp,** v. 3, 2003.

FOUST, A. S.; WENZEL, L. A.; CLUMP, C. W. **Princípio das operações unitárias**. 2ª. ed. Tradução: Horacio Macedo. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

GEADA, O. M.; DUARTE, R. N. **Remoção de corantes têxteis utilizando resíduos agrícolas da produção de milho**. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2006.

GUARATINI, C. C. I.; ZANONI, M. V. B. Corantes Têxteis: Revisão. **Química Nova**, v. 23, n. 1, p. 71–78, 1999.

HAN, J. S. **Properties of non wood fibers. USP, EMBRAPA, São Carlos, 2000.** Disponível em: <http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf1998/han98a.pdf>. Acesso em 01 de nov. 2017.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal. 2016.** Disponível em: <htttp:www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisa>. Acesso em 12 de nov. 2017.

INCE, N. H.; APIKYAN, I. G. Combination of activated carbon adsorption with light-enhanced chemical oxidation via hydrogen peroxide. **Water Research**, v. 34, n. 17, p. 4169-4176, 2000.

KRUPPA, N. E.; CANNON, F. S. J. **Water Association,** 1996.

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

LAMPERT, A. D. C.; MACHADO, C.; MACHADO, V. G.; WENDHAUSEN JUNIOR, R. **Estudos do efeito da temperatura no processo de adsorção do azul de metileno sobre a crisotila**. In: 30ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química. Águas de Lindóia. Livro de Resumos, 2007.

LEAL, C. C. A. **AVALIAÇÃO DA REMOÇÃO DO CORANTE *REMAZOL BLACK B* EM EFLUENTES TÊXTEIS UTILIZANDO COMO ADSORVENTE O MESOCARPO DO COCO VERDE**. 2003. 73 p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, abril-2003.

LEÃO, M.M.D., CARNEIRO, E.V., SCHWABE, W.K. **Controle ambiental na indústria têxtil: acabamento de malhas**. 1ª edição. Projeto Minas Ambiente. Editora Segrac. Belo Horizonte, 2002.

MACHADO, F. M. **Nanotubos de carbono como nanoadsorventes na remoção de corantes sintéticos de soluções aquosas: um estudo experimental e teórico**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2012.

McKAY, G. Adsorption of dyestuffs from aqueous solutions with activated carbon I: Equilibrium and batch contact-time studies**. J. Chem. Technol. Biotechnol**, 1982.

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

NASCIMENTO, R. F.; LIMA, A. C. A.; VIDAL, C. B.; MELO, D. Q.; RAULINO, G. S. C. **Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientai**s. Fortaleza: Imprensa Universitária, 256 p., 2014.

PARROTTA, J. A. *Cocos nucifera L*. Coconut, Coconut palm, Palma de coco. Palmae. Palm family. **USDA Forest Service, International Institute of Tropical Forestry**. New Orleans, LA, 1993.

POLAERT, I.; WILHELM, A. M; DELMAS, H. Phenol wastewater treatment by a two-step adsorption–oxidation process on activated carbon. **Chemical Engineering Science**, v. 57, n. 9, p. 1585-1590, mai. 2002.

ROCHA, R. D. C.; SILVA, R. C. O.; OLIVEIRA, R. Utilização de casca de jabuticaba (Plinia sp.) como adsorventes na remoção de cromo (VI): Planejamento fatorial, cinética e estudo de equilíbrio. TECNO-LÓGICA, v. 16, n. 1, p. 19-24, 2012.

ROSA, M. F.; ABREU, F. A. P.; FURTADO, A. A. L.; BRÍGIDO, A. K. L.; NORÕES, E. R.V. **Processo agroindustrial: obtenção de pó de casca de coco verde**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 3p., 2001.

SANTOS, D, V, M; **Reuso do bagaço de cana-de-açúcar na purificação de efluentes contaminados por óleos diesel utilizando sistema de adsorção em leito diferencial**. Monografia. Graduação em Química Industrial da Universidade Estadual da Paraíba. Campina Grande, PB, 2012.

SENHORAS, E. M. Oportunidades da cadeia agroindustrial do coco verde: do coco verde nada se perde, tudo se desfruta. **Revista Urutágua**, n. 5, p. 08-11, Maringá, PR, 2004.

SILVA, R. C. O; OLIVEIRA, R; ROCHA, R. D. C. **Utilização de casca de jabuticaba (*Plinia* sp.) como adsorvente na remoção de cromo (VI): Planejamento fatorial, cinética e estudo de equilíbrio.** TECNO-LÓGICA, v. 16, n. 1, p. 19-24, 2012.

STROHER, A. P.; MENEZES, M. L.; FIORENTIN, L. D.; PEREIRA, N. C. **Utilização do bagaço de laranja no tratamento de efluente proveniente da lavagem de jeans**. E-Xacta, v. 5, n. 1984, p. 27–37, 2012.

VAGHETTI, J. C. P.; LIMA, E. C.; ROYER, B.; CARDOSO, N. F.; MARTINS, B.; CALVETE, T. Pecan nutshell as biosorbent to remove toxic metals from aqueous solution. **Separation Science and Technology (Print)**, v. 44, p. 615-644, 2009.

YESILADA, O.; ASMA, D.; CING, S. Decolorization of textile dyes by fungal pellets. **Process Biochemistry,** 38. Malatya, 2003.