



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

REJANNE DE OLIVEIRA SOUTO

**USO DA TURFA COMO ADSORVENTE NA REMOÇÃO DO CORANTE AZUL BF-
5G**

MOSSORÓ – RN
2016

REJANNE DE OLIVEIRA SOUTO

**USO DA TURFA COMO ADSORVENTE NA REMOÇÃO DO CORANTE AZUL BF-
5G**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Centro de Ciências Exatas e Naturais, para a obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador (a): Prof.^a Dra. Kalyanne Keyly Pereira Gomes – UFERSA

MOSSORÓ – RN

2016

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central Orlando Teixeira (BCOT)
Setor de Informação e Referência (SIR)

S726u Souto, Rejanne de Oliveira.
USO DE TURFA COMO ADSORVENTE NA REMOÇÃO DO
CORANTE AZUL BF-5G / Rejanne de Oliveira Souto. -
2016.
38 f. : il.

Orientadora: Kalyanne Keyly Pereira Gomes.
Monografia (graduação) - Universidade
Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2016.

1. Adsorção. 2. Turfa. 3. Corante. 4.
Indústria Têxtil. I. Gomes, Kalyanne Keyly
Pereira, orient. II. Título.

Bibliotecário-Documentalista
Nome do profissional, Bib. Me. (CRB-15/10.000)

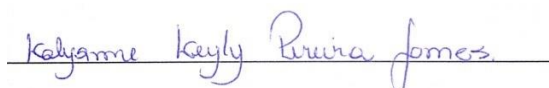
REJANNE DE OLIVEIRA SOUTO

USO DA TURFA COMO ADSORVENTE NA REMOÇÃO DO CORANTE AZUL BF-5G

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Campus Mossoró para obtenção do título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

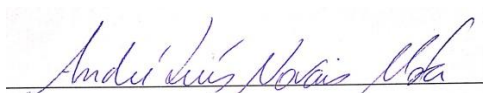
APROVADA EM: 08/11/2016

BANCA EXAMINADORA



Prof^a. Dr^a. Kalyanne Keyly Pereira Gomes – UFERSA

Presidente



Prof. Dr. André Luís Novais Mota - UFERSA

Primeiro Membro



Dr^a. Cláudia Alves de Sousa Muniz - UFERSA

Segundo Membro

*Ao meu grande amor, minha mãe, por todo seu
companheirismo, suas palavras de carinho
ditas nos momentos mais difíceis e por
acreditar que todo esforço valeria a pena.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me dar força e coragem para continuar, mesmo nas horas difíceis com saudades de casa, da família e dos amigos.

Aos meus pais, Edinaldo de Farias Souto e Robercivânia de Oliveira, pelo amor, carinho, dedicação e incentivo aos meus estudos e a minha caminhada até aqui. Sem vocês nada teria sentido, essa vitória é nossa.

A minha professora orientadora Kalyanne Keyly Pereira Gomes, pela atenção, orientação e toda ajuda na elaboração deste trabalho.

Aos meus avós, em especial minha avó Zuleide por semear conhecimentos, coragem e muito amor.

Ao meu amigo e companheiro de laboratório Mayrlo, pela cumplicidade, paciência e amizade.

Aos meus amigos e companheiros de luta, Lourynny Hélia, Bruno Saldanha, Pollyana Holanda e Rochelle Almeida, por todo apoio prestado ao longo desse curso, pelas risadas, pelos momentos difíceis e por todo carinho. Vocês são os presentes que ganhei da UFERSA Pau dos Ferros- RN.

Por fim, mas não menos importante, ao meu amigo que também é o meu amor, Raí Alves, obrigado pela preocupação, pela paciência, pelo amor e por toda confiança que foi depositada em mim.

Ama-se mais o que se conquista com esforço.

(Benjamin Disraeli)

RESUMO

A indústria têxtil é caracterizada pelo elevado uso de água durante os processos de lavagem e tingimento do tecido, ocasionando um grande problema ao meio ambiente quando essas águas são lançadas no corpo hídrico sem nenhum tratamento. Esse descarte irregular causa grandes problemas na vida marítima, pois é comum a presença de produtos químicos, como por exemplo, os corantes. A presença de corantes nos efluentes além de ser bastante tóxico, influencia o acesso da luz solar no corpo hídrico, prejudicando a fotossíntese e causando impacto visual. Diante disto, as indústrias vêm investindo no desenvolvimento de tecnologias e no tratamento de seus efluentes com intuito de descartar seus rejeitos de forma adequada sem prejudicar o meio ambiente. Várias técnicas são aplicadas para remoção dos corantes, sendo que o processo de adsorção vem se destacando por ser um método eficaz, economicamente viável e por possuir um menor tempo de processamento. Neste trabalho, estudou-se a remoção do corante reativo azul BF-5G de um efluente sintético utilizando como adsorvente a turfa. Foi aplicado um planejamento fatorial do tipo 2^3 visando analisar a influência da relação entre a quantidade de adsorvente utilizado pelo volume de solução do corante, do pH e da concentração da solução de corante na percentagem de remoção, assim como na capacidade de remoção. Esses ensaios foram realizados em sistema de banho finito com temperatura e agitação constantes de, respectivamente, 30 °C e 150 rpm. Os estudos mostraram que fator determinante para a remoção do corante é o pH da solução. Mostrou também que o percentual de remoção é maior quando o pH da solução é menor e a relação da quantidade de adsorvente utilizado pelo volume de solução de corante é maior. O percentual de remoção foi de 100%, mostrando que a turfa apresenta-se promissora para o processo de adsorção.

Palavras-Chave: Adsorção. Turfa. Corante. Indústria Têxtil.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema do espectrofotômetro HP-8452A.....	17
Figura 2 – Fluxograma do procedimento experimental utilizado.....	21
Figura 3 – Gráfico de Pareto para o percentual de remoção do Corante Reativo Azul BF-5G25	
Figura 4 - Gráfico de Pareto para a capacidade de remoção da turfa.....	25
Figura 5 - Superfície de resposta para a porcentagem de remoção da turfa em função da concentração e da relação entre $M_{\text{adsorvente}}/V_{\text{solução}}$	27
Figura 6 - Superfície de resposta para a porcentagem de remoção da turfa em função da relação entre $M_{\text{adsorvente}}/V_{\text{solução}}$ e do pH.....	28
Figura 7 – Superfície de resposta para a porcentagem de remoção da turfa em função do pH e da concentração	29
Figura 8 - Superfície de resposta para a capacidade de remoção da turfa em função da massa do adsorvente e da concentração	30
Figura 9 - Superfície de resposta para a capacidade de remoção da turfa em função da massa do adsorvente e do pH da solução	31
Figura 10 - Superfície de resposta para a capacidade de remoção da turfa em função da concentração e do pH da solução	32
Figura 11-Diagrama de dispersão dos valores calculados em função dos valores observados, para a porcentagem de remoção com limites de confiança de $\pm 95\%$	34
Figura 12 - Diagrama de dispersão dos valores calculados em função dos valores observados, para a capacidade de remoção com limites de confiança de $\pm 95\%$	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores das variáveis codificadas	23
Tabela 2 - Porcentagem e capacidade de remoção da turfa.....	24
Tabela 3- Análise de variância para a percentagem de remoção do corante reativo azul.	33
Tabela 4- Análise de variância para a capacidade de remoção da turfa	33

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1 INDÚSTRIAS TÊXTEIS	12
2.2 CORANTES	13
2.3 PROCESSOS DE TRATAMENTOS EM EFLUENTES	14
2.4 ADSORÇÃO	15
2.5 ESPECTROFOTOMETRIA.....	16
2.6 ADSORVENTE	17
2.7 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL	18
2.7.1 Planejamento Fatorial.....	19
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	20
3.1 MATERIAIS UTILIZADOS	20
3.2 METODOLOGIA.....	20
3.2.1 Preparação da solução de adsorbato	21
3.2.2 Ensaios de banho finito	22
3.2.3 Planejamento fatorial.....	22
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	23
4.1 OBTENÇÃO DA CONCENTRAÇÃO POR ESPECTROFOTOMETRIA	23
4.2 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL	23
5. CONCLUSÃO.....	36
6. REFERÊNCIAS	37

1. INTRODUÇÃO

A água é um elemento essencial para a sobrevivência da vida no planeta, ao longo do tempo as atividades humanas vêm poluindo com mais frequência esse bem natural, essa contaminação vem sendo o maior problema da sociedade moderna. Os danos causados ao meio ambiente vêm principalmente das indústrias, são esses danos que afeta o funcionamento dos ecossistemas. Um dos problemas fundamentais é o descarte, inadequado, de resíduos industriais, nos lagos e rios.

A indústria têxtil se destaca pelo grande teor de efluentes lançados no corpo hídrico com carga poluidora. Esses efluentes provenientes das indústrias podem ser produtos como dispersantes, ácidos, bases, detergentes, sais, corantes, entre outros. Os efluentes que apresentam uma alta coloração devido ao corante podem apresentar propriedades tóxicas e mutagênicas (CARVALHO, 2010). Além de causar prejuízos na produção de oxigênio e na fotossíntese das algas (ZAMORA et al., 2002a).

Pensando no melhoramento e reaproveitamento da água no processo, a cada dia vem aumentando os estudos e técnicas na área de remoção dos corantes têxteis. Alguns métodos são bastante utilizados na remoção dos corantes, são eles: floculação, oxidação, coagulação e adsorção (MONTEIRO, 2016).

A técnica de adsorção apresenta algumas vantagens em relação às demais, devido ao elevado nível de eficiência, simplicidade na execução dos procedimentos e baixo custo. Existem alguns fatores que influenciam a adsorção, são eles: a temperatura, concentração inicial do adsorvato, pH da solução, velocidade de agitação e impurezas na superfície do adsorvente. Um material que pode ser utilizado como adsorvente é a turfa, pois apresenta um baixo custo e alto índice de adsorção.

Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo estudar a remoção do corante reativo azul BF-5G, de um efluente sintético, através do processo de adsorção em banho finito, utilizando a turfa como adsorvente. Um planejamento fatorial 2^3 foi utilizado avaliar o percentual de remoção do processo de adsorção e a capacidade de remoção.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 INDÚSTRIAS TÊXTEIS

Uma das pioneiras no processo de industrialização do Brasil foi a indústria têxtil. Ela é um fator de grande importância para a economia brasileira, pois gera um elevado número de empregos e uma grande variedade de produtos para serem comercializados. Segundo ABIT (Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção), em 2010 o setor reuniu 32 mil empresas, das quais mais de 80% são empresas de pequeno e médio porte, situadas em todo território nacional.

As indústrias têxteis recebem e preparam a fibra, transformam fios em tecidos e tingem esses materiais. São nesses processos que são utilizados inúmeros tipos de produtos químicos, como corantes, oxidantes e alvejantes à base de hipoclorito. Todas essas etapas de produção são qualificadas pelo uso excessivo de água (ABRAHÃO & SILVA, 2002).

De acordo com Moraes (1999) o setor têxtil é conhecido por exibir um alto potencial poluidor ao meio ambiente, isso acontece devido aos odores, ruídos, resíduos sólidos, emissões de gases e efluentes líquidos que são gerados.

Quando o descarte desses efluentes líquidos é lançado diretamente no corpo hídrico acabam causando danos irreparáveis ao meio ambiente, além do alto teor de toxicidade e dos danos visuais, causam também impacto na demanda de oxigênio, prejudicando a vida marítima. Quando em contato com a população, podem causar danos à saúde já que possuem compostos que podem ser carcinogênicos (CARVALHO, 2010).

O descarte ideal desses efluentes nos corpos de água acontece quando se existe um devido tratamento para obedecer às condições padrões e exigências aplicáveis. Esses tratamentos podem ser tratamentos biológico, físicos e químicos. Porém mesmo com a eficiência desses tratamentos, ainda é possível identificar alguns indicadores de poluição, como a coloração.

Órgãos ambientais como o CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) vêm atuando junto com as indústrias têxteis para que elas adotem medidas de tratamento para a remoção da coloração dos efluentes [CONAMA (2005)].

2.2 CORANTES

O contato da humanidade com os corantes é bastante antigo, existindo relatos da prática de colorir tecidos cerca de 3200 anos a.c no Egito e na Índia há 2000 anos a.c. Os corantes utilizados nessa época eram os naturais, oriundos principalmente de plantas, com aplicações no processo de tingimento (OLIVEIRA, 2005).

Com o avanço da tecnologia, atualmente, o processo de tingimento passar por varias etapas que são escolhidas de acordo com a natureza da fibra têxtil, características estruturais, classificação, entre outras. Para atender a exigência do consumidor pela diversidade de cores, tonalidades, a resistência a descolorantes, etc, estima-se que cerca de 10.000 tipos de corantes são gerados em escala industrial, sendo que em torno de 30% são para a industrial têxtil (GUARATINI & ZANONI, 2000).

Corantes e pigmentos são substâncias que em contato com o material lhe conferem cor, quando aplicados, eles se diferenciam pela sua solubilidade, os corantes são solúveis e os pigmentos são insolúveis. Os corantes são utilizados principalmente na indústria têxtil, mas podem ser usados também no setor de papel, cosméticos, alimentos, tintas e plásticos.

A classificação dos corantes é feita ou pela sua estrutura química (azo, antraquinona, etc.) ou pela forma de como ele é fixado à fibra (CERQUEIRA, 2006). Essa fixação é feita, geralmente, em solução aquosa e pode envolver alguns tipos de interação como: ligação covalente, iônica, Van der Waals e pontes de hidrogênio (GUARATINI & ZANONI, 2000). Alguns dos principais grupos de corantes classificados pela forma de fixação são apresentados a seguir:

- Corantes reativos: são corantes que possui um grupo eletrofílico (reativo) capaz de formar ligação covalente com grupos hidroxilas das fibras celulósicas, com grupos amino, tióis e hidroxila das fibras proteicas e também com grupos amino das poliamidas. Esse grupo de corantes apresenta alta solubilidade em água e o estabelecimento de uma ligação covalente entre o corante e a fibra, confere maior estabilidade à cor do tecido.
- Corantes diretos: caracterizam-se por ser solúveis em água com a capacidade de tingir fibras de celulose (algodão, viscose, etc.) através da interação de Van der Waals. É uma classe constituída por corantes contendo mais de um grupo azo (diazó, triazo, etc.) ou pré-transformados em complexos metálicos. Sua grande vantagem é o alto

grau de exaustão durante a aplicação, que diminui o conteúdo do corante nas águas de rejeito.

- Corantes ácidos: possuem grandes números de grupos de corantes aniônicos portadores de um a três grupos sulfônicos. São solúveis em água e tem grande importância no método de aplicação do corante em fibras de lã, seda e em fibras de poliamida sintética.
- Corantes dispersivos: são insolúveis em água, constituídos principalmente por corantes do tipo azóicos, usados para tingimento de fibras sintéticas como: nylon, poliéster, poliamida e acetato de celulose (GUARATINI & ZANONI, 2000).

Os corantes mais utilizados pela indústria têxtil são os corantes reativos, isso ocorre devido a sua boa estabilidade durante os processos de lavagem e por exibir um simples processo de tingimento.

2.3 PROCESSOS DE TRATAMENTOS EM EFLUENTES

Há uma grande dificuldade no tratamento das águas residuais geradas pela indústria têxtil. Os corantes são compostos químicos orgânicos que tem a propriedade de absorver luz visível seletivamente, devido à presença de grupos como nitro, nitroso e azo. Um dos seus aspectos mais importante é a propriedade de permanência sem alteração de sua cor, chamado de resistência à luz (KIMURA et al., 1999).

A descarga de efluentes coloridos é bastante tóxica e acaba influenciando o acesso da luz solar no corpo hídrico, prejudicando o meio ambiente, o processo de fotossíntese e causando impacto visual.

Os métodos mais aplicados para o tratamento em efluentes contendo corante podem ser classificados como: biológicos, químicos e físicos.

Pelo fato da baixa biodegradabilidade dos corantes, os métodos de tratamentos biológicos nos efluentes não são muito eficientes. O procedimento consiste na agitação dos efluentes na presença de microorganismos e ar, durante o tempo necessário para que ocorra a metabolização e floculação de uma parte da matéria orgânica. Apesar de bons resultados para remoção de resíduos sólidos, esse tratamento não possui uma boa eficiência para remoção de cor (BITTON, 1994).

Usualmente, os processos físicos ou químicos, tais como: oxidação química, floculação, coagulação, troca iônica e adsorção, são mais empregadas no tratamento para a remoção dos contaminantes.

O método de adsorção possui uma grande vantagem, pois se tem a oportunidade de recuperação do corante na forma concentrada e a reutilização do adsorvente no processo (KIMURA et al., 1999). Sendo viável economicamente, na maioria dos casos, e apresentando bons resultados.

2.4 ADSORÇÃO

Por apresentar elevadas taxas de remoção e baixo custo na operação, a adsorção é um dos métodos de remoção de corantes que tem despertado o interesse da indústria.

Segundo Ruthven (1984) adsorção é um fenômeno de superfície em que o soluto é removido de uma fase líquida e acumulado na superfície de uma fase sólida, ou seja, um processo no qual uma substância líquida ou gasosa fica retida a superfície de um sólido. O material sobre o qual ocorre a adsorção chama-se adsorvente, e a substância adsorvida é o adsorbato. Fatores como estrutura molecular, natureza do solvente, o pH do meio, a temperatura e a solubilidade do soluto acabam afetando o processo de adsorção.

A adsorção pode ser classificada quanto a sua intensidade em dois tipos: adsorção física e adsorção química.

Quando as moléculas conectam a superfície do adsorvente através da formação de ligações químicas, geralmente covalentes, envolvendo troca de elétrons entre sítios específicos da superfície e molécula do soluto, chamamos de quimissorção ou adsorção química. Já adsorção física, ou fisissorção, é caracterizada por atrações intermoleculares e liberação de calor, ela ocorre em toda superfície do adsorvente por isso é dita ser não localizada, enquanto a adsorção química só acontece nos sítios ativos, sendo assim, é dita localizada.

Chamam-se de isotermas de adsorção, a relação entre o adsorbato removido da fase aquosa e a quantidade de adsorbato restante na solução com temperatura constante (MCCABE et al., 1993).

2.5 ESPECTROFOTOMETRIA

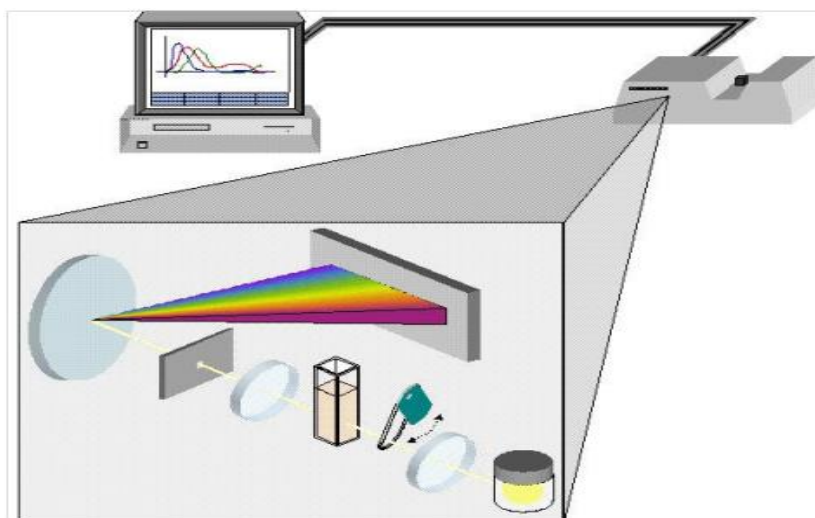
O entendimento da adsorção de luz pela matéria é a forma mais habitual de determinar a concentração de compostos presentes em soluções. É por meio da espectrofotometria, medida de absorção, que componentes desconhecidos de uma solução podem ser denominados através de seus espectros característicos ao visível, ultravioleta ou infravermelho (SANTOS, 2016).

Um feixe de luz monocromático ao passar por uma solução com moléculas adsorventes, parte da luz é absorvida pela solução e o restante é transmitido. A adsorção da luz depende do agrupamento das moléculas adsorventes e da espessura da solução - caminho óptico.

O instrumento que permite comparar a radiação transmitida ou absorvida por uma determinada solução é denominado espectrofotômetro. A solução apresenta uma quantidade desconhecida de soluto e uma quantidade conhecida da mesma substância. Os itens principais do espectrofotômetro são: fonte de luz, monocromador, cubeta, detector e indicador de sinal (computador).

No espectrofotômetro, um feixe de luz é fracionado pelo monocromador (prisma ou rede de difração) nos comprimentos de ondas que a compõem. Quando selecionado, o comprimento de onda é dirigido para solução que esta contida dentro da cubeta. Parte da luz é absorvida e parte é transmitida. A luz que é transmitida chega ao detector e lá é transformado em um sinal elétrico, esse sinal é recebido pelo computador que mostra esses dados em forma de espectro (absorção x comprimento de onda) (GÓES FILHO, 2005).

Figura 1 – Esquema do espectrofotômetro HP-8452A



Fonte: GÓES FILHO, 2005.

2.6 ADSORVENTE

Turfa

A turfa é um sedimento orgânico que é formado em um ambiente ácido, úmido e com pouca oxigenação pela decomposição parcial da matéria vegetal. É considerada, sob um olhar físico-químico, porosa, altamente polar e com grande capacidade de adsorção em moléculas orgânicas polares e em metais de transição. (FRANCHI, 2004).

É apontado como um mineral formado nos últimos dez mil anos resultante da decomposição incompleta de diferentes musgos, como o *Sphangnum*, junto com líquens, juncos e árvores em um ambiente com excesso de água e pH normalmente ácido. Ela é parte do estágio iniciante da formação do carvão ativado (CUEVAS, 2011).

Segundo Franchi (2004) o grande teor de substâncias húmicas, conhecidas também como polímeros naturais, possibilita que a turfa tenha uma grande atração pelos cátions metálicos. Essas substâncias possuem elevados números de grupos funcionais com cargas negativas, são esses grupos os sítios de adsorção dos metais em solução.

A turfa é muito explorada na parte agrícola, pois ela aumenta as atividades microbianas e melhora as propriedades físicas do solo, por ser muito inflamável pode ser usada como combustível para aquecimento doméstico. Pode ser aplicada também como substrato no cultivo de plantas e adsorvente de hidrocarbonetos.

2.7 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

Planejamento experimental é um método essencial no desenvolvimento de novos processos e no aprimoramento de processos em utilização. Nele são feitos vários testes sempre provocando mudanças intencionais nas variáveis de entrada e nas variáveis de saída. Um planejamento exato possibilita o aprimoramento de processos, a redução do tempo de análise, avaliação e comparação de configurações básicas do projeto, avaliação de alternativas de materiais, determinação de parâmetros fundamentais de projeto de produtos que afetam o desempenho. (MONTGOMERY, 2009).

Esse modelo apresenta vantagens quando se fala de minimização e controle do efeito dos erros experimentais. De acordo com Montgomery (2009) existem algumas etapas que são importantes e propostas para o planejamento e análise de experimento que possui a seguinte ordem:

1. Reconhecimento e declaração do problema.
2. Na experiência, os intervalos em que estes fatores serão variados, e os níveis específicos em que é executado serão feitas.
3. Seleção da variável resposta.
4. Escolha do projeto experimental.
5. Realizar o experimento.
6. A análise dos dados.
7. Conclusões e recomendações.

Para que o planejamento experimental seja eficiente, os métodos utilizados possuem os objetivos como: a escolha do melhor modelo entre a série de modelos existentes, e aproximação eficiente dos parâmetros do modelo que foi selecionado. Tem-se uma objetividade científica nas conclusões quando se usa o método estatístico na análise dos dados obtidos (CALADO, MONTGOMERY, 2003).

2.7.1 Planejamento Fatorial

O planejamento fatorial é uma importante técnica de planejamento experimental. Ele é classificado como uma prática do tipo simultânea, onde os fatores de interesse são avaliados ao mesmo tempo, já que apresentam influências significativas na resposta. Para realizar um planejamento fatorial, efetuam-se experimentos em diferentes valores ou níveis a partir dos fatores escolhidos a serem estudados (MOREIRA, 2009).

Através de uma experiência fatorial todas as combinações possíveis dos níveis dos fatores são investigadas (MONTGOMERY, 2009).

Os planejamentos fatoriais do tipo 2^k (k fatores com cada um em 2 níveis) são os mais comuns. Sua vantagem é a realização de poucos experimentos. Com um número reduzido de níveis não é possível investigar de maneira completa uma grande região do espaço das variáveis. Porém, podem-se perceber tendências consideráveis para a realização de estudos subsequente (MOREIRA, 2009).

Nos planejamentos fatoriais é comum codificar os dois níveis, onde os fatores são explorados, usando os sinais (+) para o maior valor de uma variável e (-) para o menor valor. Esta codificação de fatores permite esquematizar o planejamento na forma de matriz de contraste, que são tabelas utilizadas onde são organizados os sinais (+) e (-) e são particularmente úteis quando mais de 2 fatores são estudados conjuntamente (MOREIRA, 2009).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

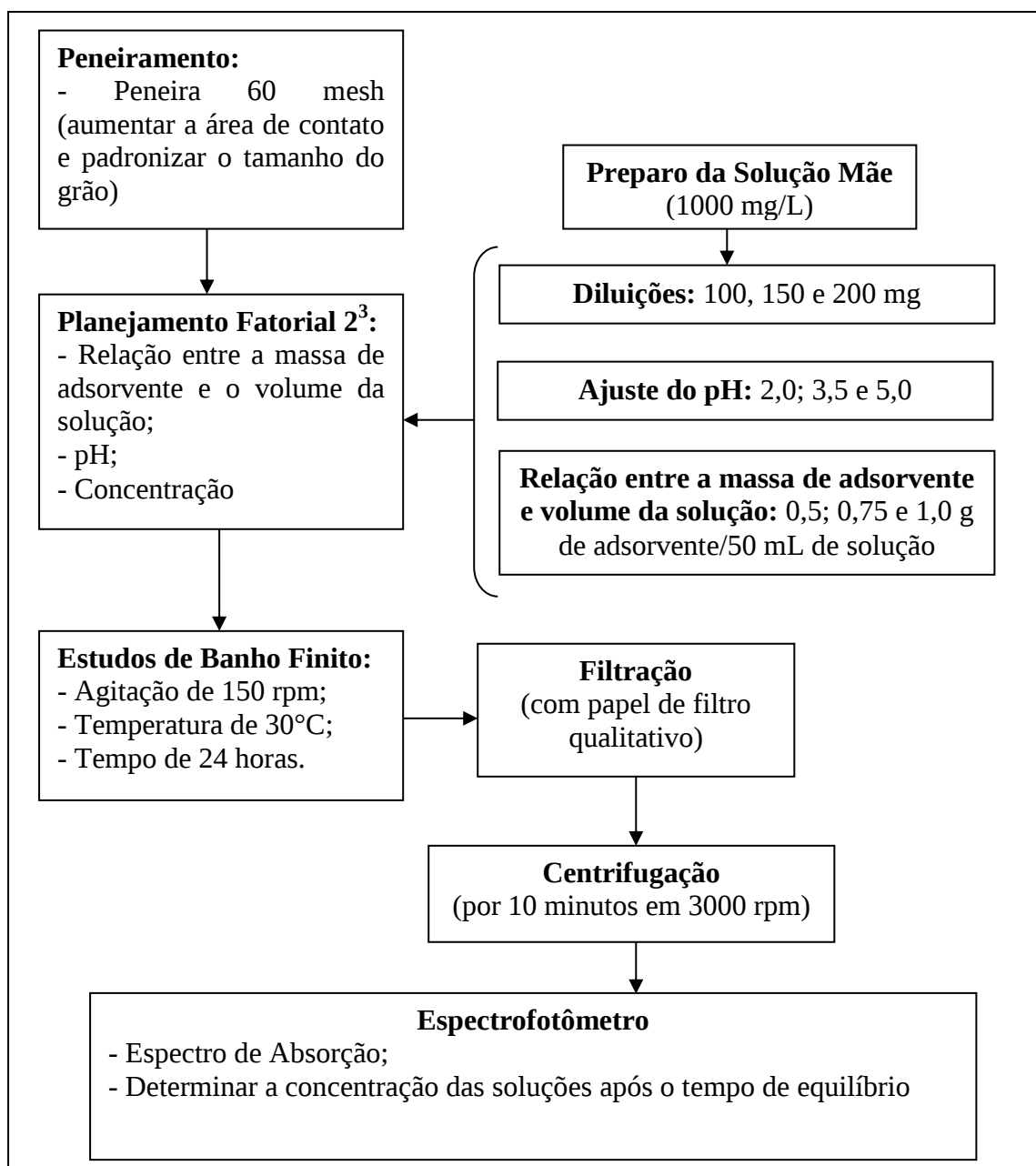
Apresenta-se, nesse tópico, o tipo de material utilizado e os procedimentos efetuados no desenvolvimento dos ensaios de adsorção para remoção do Corante Azul reativo BF-5G usando a turfa como adsorvente.

3.1 MATERIAIS UTILIZADOS

- Turfa;
- Corante Azul reativo BF-5G;
- Peneira, 60 mesh;
- Erlenmeyers;
- Pipetas;
- Balões Volumétricos;
- Béqueres;
- Pissetas;
- Cubetas;
- Filtros quantitativos;
- Balança analítica, modelo AY220 da Tecnal;
- Centrífuga, modelo EEQ-9004/B da Edutec;
- Shaker com controle de temperatura, modelo TE-420 da Tecnal;
- Medidor de pH, modelo TEC-11 da Tecnal;
- Espectrofotômetro, modelo Gehaka UV-340G.

3.2 METODOLOGIA

Figura 2 – Fluxograma do procedimento experimental utilizado



Fonte: Autoria própria (2016)

3.2.1 Preparação da solução de adsorbato

A solução padrão do corante azul reativo BF-5G (fornecido pela Texpal) foi preparada a uma concentração de 1000 mg/L (solução mãe) e, através da diluição desta, obteve-se as soluções sintéticas, para a realização dos ensaios, cujas concentrações utilizadas foram: 100,

150 e 200 mg/l. O pH das soluções foram ajustados aos valores de 2,0; 3,5 e 5,0 adicionando sempre que necessário ácido nítrico ou hidróxido de sódio a 1 mol/L cada.

3.2.2 Ensaio de banho finito

As análises foram executadas em banho finito sob agitação de 150 rpm em um shaker TE-420 da Tecnal durante um período de 24 horas a uma temperatura ambiente em torno de 30 °C. Após o tempo de adsorção, as soluções foram filtradas com papel filtro qualitativo, e em seguida centrifugadas durante 10 minutos com agitação de 3000 rpm com o propósito de remover a parte insolúvel que fica dispersa na solução para só então serem analisadas por espectrofotometria na região do visível.

Foi possível medir a concentração de corante adsorvido após o tempo de equilíbrio através do espectro de absorção e da curva de calibração, e consequentemente o percentual de remoção e a capacidade de remoção.

A partir das equações abaixo se calculou a porcentagem de remoção (%Rem) e a capacidade de remoção (q_{eq}) nas diferentes condições realizadas neste trabalho:

$$\%Rem = \left(\frac{C_0 - C_f}{C_0} \right) * 100 \quad (1)$$

$$q_{eq} = \frac{V * (C_0 - C_e)}{M} \quad (2)$$

Onde C_0 (mg/L) é a concentração inicial do corante azul reativo BF-5G, C_f (mg/L) é a concentração final do corante, C_e (mg/L) é a concentração do corante no tempo de equilíbrio, V (L) é o volume da solução de corante e M (g) é massa de adsorvente (turfa).

3.2.3 Planejamento fatorial

Três variáveis foram analisadas: a relação entre a massa do adsorvente e o volume da solução, pH e concentração da solução. A finalidade foi verificar o efeito dessas três variáveis na remoção do corante Azul BF-5G. O planejamento fatorial aplicado foi de dois níveis, e apresentava três variáveis. Assim, o planejamento experimental fatorial 2^3 consiste de 8

experimentos, com três repetição no ponto, combinando os níveis de máximo (+1) e mínimo (-1) dos três fatores central para estudar a influência da relação entre a massa do adsorvente e o volume da solução, do pH e da concentração da solução sintética no percentual de remoção do corante e na capacidade de remoção da turfa. A Tabela 1 abaixo apresenta os valores das variáveis codificadas x_1 (relação entre $M_{\text{adsorvente}}/V_{\text{solução}}$), x_2 (pH) e x_3 (concentração).

Tabela 1 – Valores das variáveis codificadas

x_i	Variável	(-1)	0	(+1)
x_1	Relação entre $M_{\text{adsorvente}}/V_{\text{solução}}$	0,5 g/50 mL	0,75 g/50 mL	1,0 g/50 mL
x_2	Ph	2	3,5	5
x_3	Concentração	100 mg/L	150 mg/L	200 mg/L

Fonte: Autoria própria (2016)

Um planejamento fatorial exige que a execução dos experimentos investigue todas as possíveis combinações dos níveis das variáveis, de modo a mostrar os efeitos que a variação de um determinado fator possa ter sobre a resposta (BARROS NETO *et al.*, 1996).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 OBTENÇÃO DA CONCENTRAÇÃO POR ESPECTROFOTOMETRIA

Foi pelo método de espectrofotometria que a concentração das soluções foi obtida. Esse método consiste na absorção de radiação eletromagnética na região do visível por parte dos compostos coloridos de interesse, para isto, primeiramente varre-se a região do espectro numa faixa de comprimento de onda de 350 a aproximadamente 800 nm para determinar o comprimento de onda onde ocorre a máxima absorbância, que foi de 615 nm.

4.2 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

Através da aplicação do planejamento fatorial 2^3 com triplicata no ponto central para o sistema de remoção do corante reativo azul BF-5G por turfa, foram obtidos os resultados para a percentagem de remoção e para a capacidade de remoção nos ensaios de banho finito, que estão demonstrados na Tabela 2. Foi obtida máxima remoção do corante, 100%, em três ensaios (1,2 e 6).

De acordo com os resultados obtidos nos ensaios com a turfa, a menor remoção do corante foi alcançada no ensaio 7, onde se empregou a menor relação $M_{\text{adsorvente}}/V_{\text{solução}}$ (0,5 g/50 mL) , maior pH (5) e maior concentração da solução de sintética de corante (200 mg/L).

Tabela 2 - Porcentagem e capacidade de remoção da turfa.

Ensaio	x_1	x_2	x_3	% de Remoção	Capacidade de Remoção (q_e)
1	-1	-1	-1	100,00	10,00
2	1	-1	-1	100,00	5,00
3	-1	1	-1	68,70	6,87
4	1	1	-1	88,49	4,42
5	-1	-1	1	99,89	19,98
6	1	-1	1	100,00	10,00
7	-1	1	1	33,78	6,76
8	1	1	1	80,67	8,07
9	0	0	0	90,23	9,02
10	0	0	0	90,13	9,01
11	0	0	0	90,51	9,05

Fonte: Autoria própria (2016)

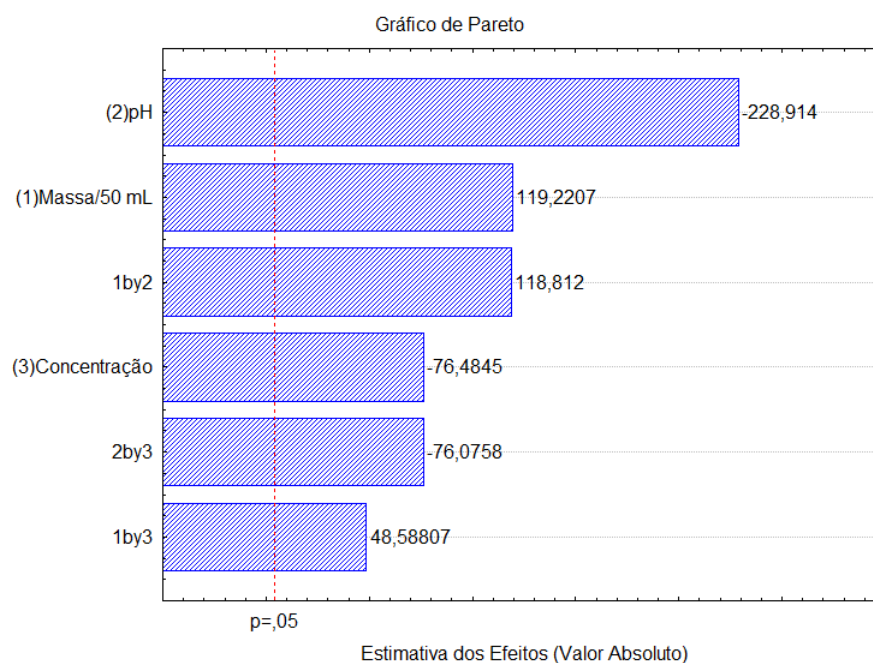
As Equações 3 e 4 abaixo, mostram os parâmetros do modelo empírico que foram calculados utilizando o *software Statistica 7.0* a partir dos dados da Tabela 3 para a percentagem de remoção e para a capacidade de remoção, estão respectivamente.

$$\%Rem = 85,6725 + 8,3492x_1 - 16,0312x_2 - 5,3563x_3 + 8,3206x_1x_2 + 3,4027x_1x_3 - 5,3277x_2x_3 \quad (3)$$

$$q_{eq} = 8,9256 - 2,0139x_1 - 2,3575x_2 + 2,3132x_3 + 1,7304x_1x_2 - 0,1525x_1x_3 - 1,4311x_2x_3 \quad (4)$$

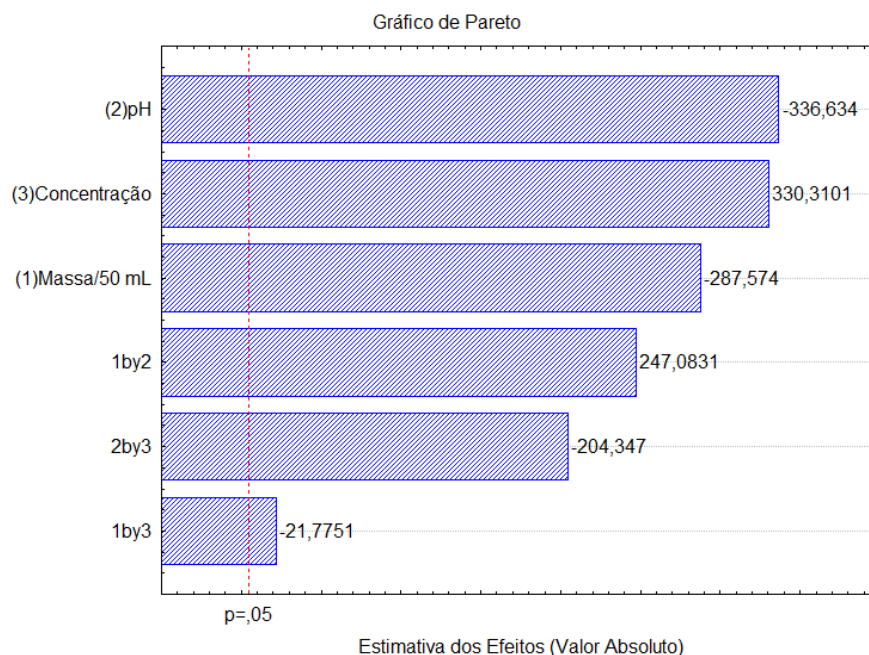
Através dos gráficos de Pareto pode ser analisada a influência que as variáveis adotadas para o processo causam na percentagem de remoção e na capacidade de remoção do corante (Figuras 3 e 4).

Figura 3 – Gráfico de Pareto para o percentual de remoção do Corante Reativo Azul BF-5G



Fonte: Autoria Própria (2016)

Figura 4 - Gráfico de Pareto para a capacidade de remoção da turfa



Fonte: Autoria Própria (2016)

A análise dos gráficos de Pareto permite visualizar que todas as variáveis estudadas, quanto a interação entre elas apresentam influência estatisticamente significativa ao nível de 95% de confiança, tanto para a percentagem de remoção quanto para a capacidade de remoção.

Percebem-se também valores negativos e positivos na influência das variáveis em estudo. Os fatores que apresentam sinal negativo ao sair de um nível inferior para um superior influenciam negativamente no processo de remoção, não favorecendo a resposta. Já, os fatores que apresentam sinal positivo, ao sair de um nível inferior para um nível superior a resposta é favorecida.

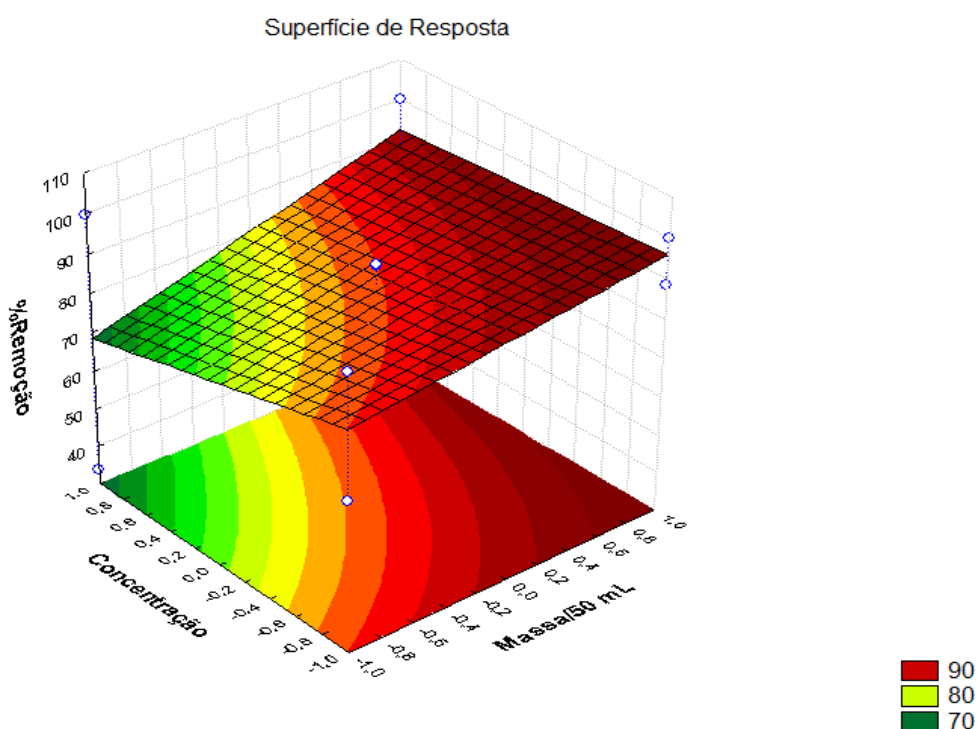
Tendo em vista a influência sobre a percentagem de remoção da turfa, observa-se que o pH quando passa do nível inferior (pH 2,0) para o nível superior (pH 5,0) interfere negativamente no processo, ou seja, há redução do valor para a percentagem de remoção. O mesmo ocorre para a concentração da solução, pois um aumento na concentração, de 100 mg/L (nível inferior) para 200 mg/L (nível superior), também diminui a porcentagem de remoção. Porém, a relação entre $M_{\text{adsorvente}}/V_{\text{solução}}$ passando do nível inferior (0,5 g/50 mL) para o nível superior (1,0 g/50 mL), a resposta tem seu valor aumentado na porcentagem de remoção devido à influência positiva desta variável no processo. As interações foram positivas entre as variáveis do processo, quando se combinou a massa do adsorvente com a

pH e com a concentração, mas a interação entre o pH e a concentração influenciou de forma negativa o percentual de remoção.

Para capacidade de remoção da turfa, verifica-se que a concentração da solução interfere positivamente no processo, de modo que, o valor para a capacidade de remoção aumenta, quando a concentração também aumenta. O contrário ocorre com a relação entre $M_{\text{adsorvente}}/V_{\text{solução}}$ e com o pH, ou seja, quando a relação entre $M_{\text{adsorvente}}/V_{\text{solução}}$ ou pH aumenta, a variável final apresenta um valor menor devido à influência negativa desta variável no processo e, conseqüentemente, ocorre à diminuição da capacidade de remoção. A combinação entre a relação entre $M_{\text{adsorvente}}/V_{\text{solução}}$ e o pH influenciou positivamente a capacidade de remoção. No entanto, a combinação entre a concentração, a relação entre $M_{\text{adsorvente}}/V_{\text{solução}}$ e o pH, teve uma influencia negativa na capacidade de remoção.

As Figuras 5, 6 e 7 mostram os gráficos das superfícies de resposta para a percentagem de remoção do corante azul BF – 5G. A superfície de resposta permite visualizar de maneira mais geral a influência das variáveis do processo na variável resposta.

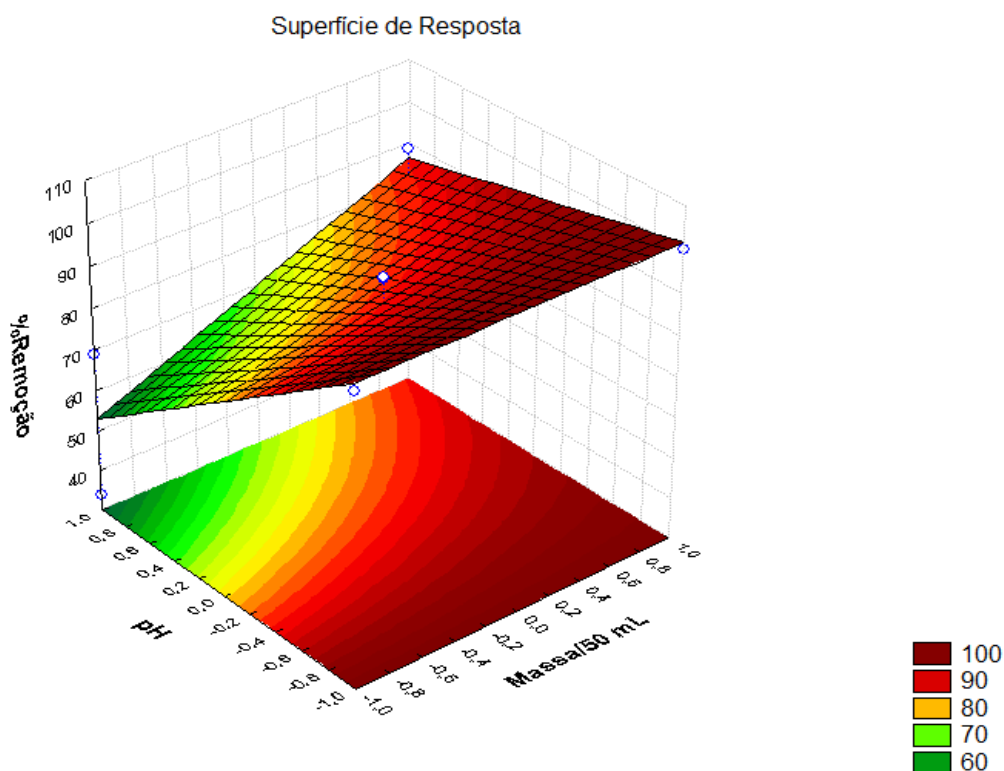
Figura 5 - Superfície de resposta para a porcentagem de remoção da turfa em função da concentração e da relação entre $M_{\text{adsorvente}}/V_{\text{solução}}$



Fonte: Autoria Própria (2016)

A Figura 5 acima mostra a superfície de resposta para a percentagem de remoção da turfa, em função da relação entre a $M_{\text{adsorvente}}/V_{\text{solução}}$ (x_1) e da concentração da solução (x_3). O maior percentual de remoção do corante é conseguido pela diminuição da concentração da solução e um aumento da relação entre a $M_{\text{adsorvente}}/V_{\text{solução}}$.

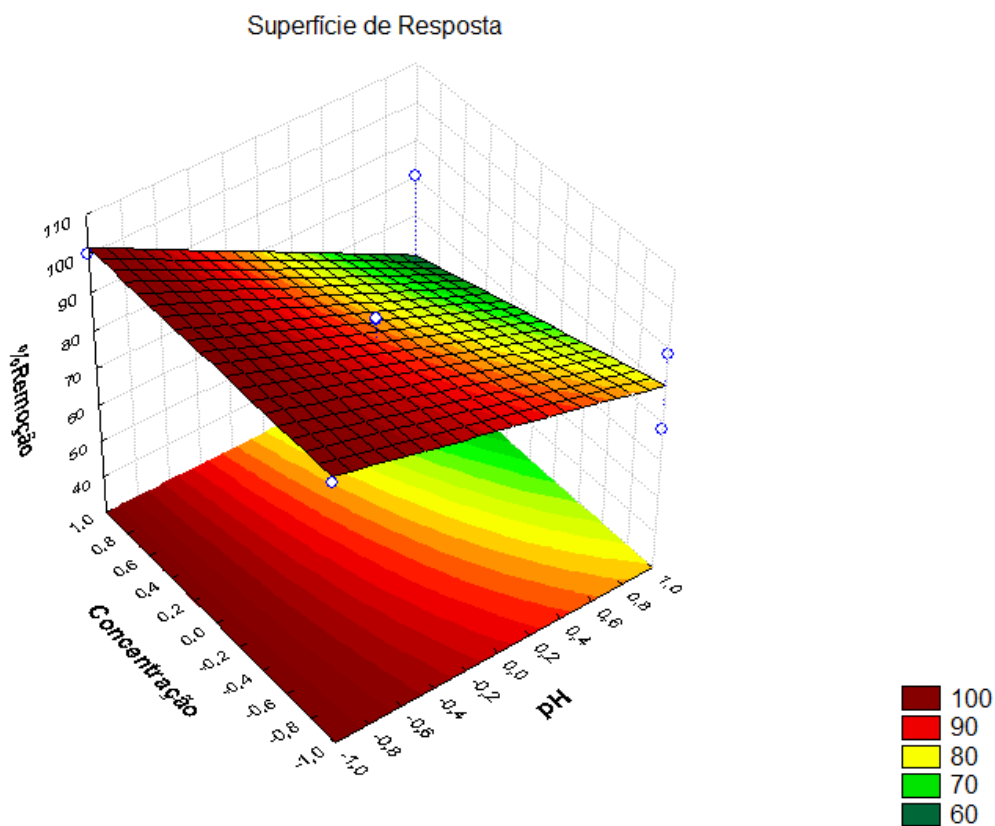
Figura 6 - Superfície de resposta para a percentagem de remoção da turfa em função da relação entre $M_{\text{adsorvente}}/V_{\text{solução}}$ e do pH



Fonte: Autoria Própria (2016)

A Figura 6 mostra a superfície de resposta para a percentagem de remoção do corante em função do pH (x_2) e da relação entre a $M_{\text{adsorvente}}/V_{\text{solução}}$ (x_1). O maior percentual de remoção do corante é conseguido pela diminuição do pH da solução e um aumento relação entre a $M_{\text{adsorvente}}/V_{\text{solução}}$.

Figura 7 – Superfície de resposta para a percentagem de remoção da turfa em função do pH e da concentração

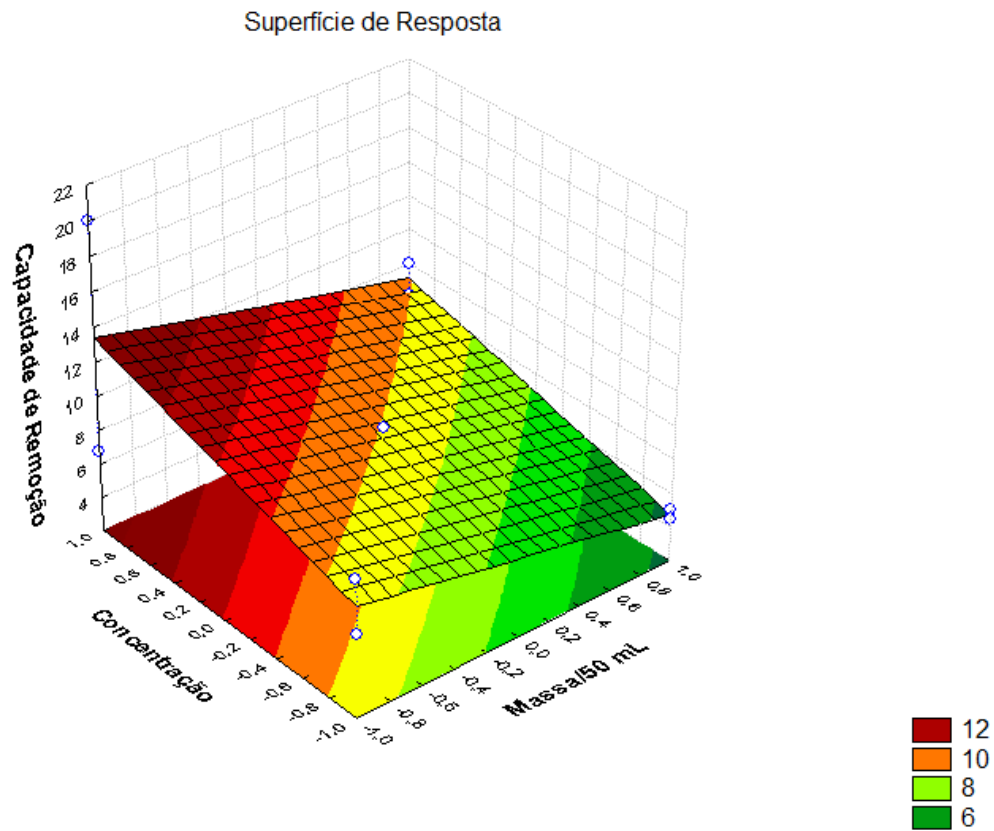


Fonte: Autoria Própria (2016)

A Figura 7 mostra a superfície de resposta para a percentagem de remoção do corante em função do pH (x_2) e da concentração (x_3). O maior percentual de remoção do corante é conseguido pela diminuição da concentração e do pH da solução.

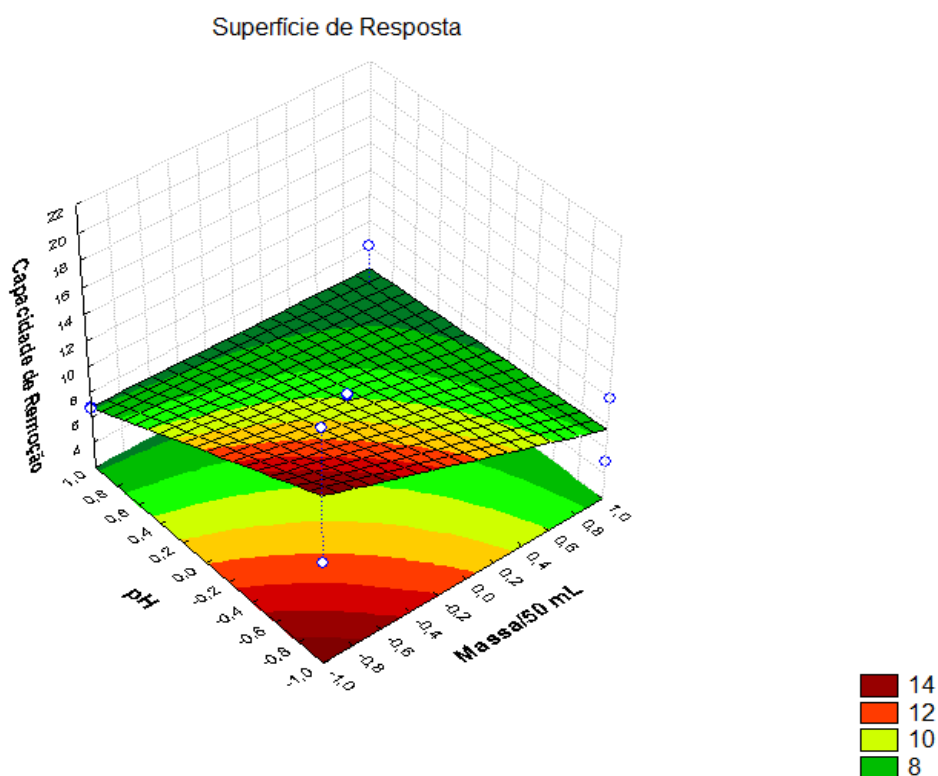
Já as Figuras 8, 9 e 10 mostram os gráficos das superfícies de resposta para a capacidade de remoção da turfa.

Figura 8 - Superfície de resposta para a capacidade de remoção da turfa em função da massa do adsorvente e da concentração



A Figura 8 mostra a superfície de resposta para a capacidade de remoção da turfa em função da concentração (x_3) e da relação entre a $M_{\text{adsorvente}}/V_{\text{solução}}$ (x_1). A maior capacidade de remoção é obtida quando se aumenta a concentração da solução e diminui a relação entre a $M_{\text{adsorvente}}/V_{\text{solução}}$.

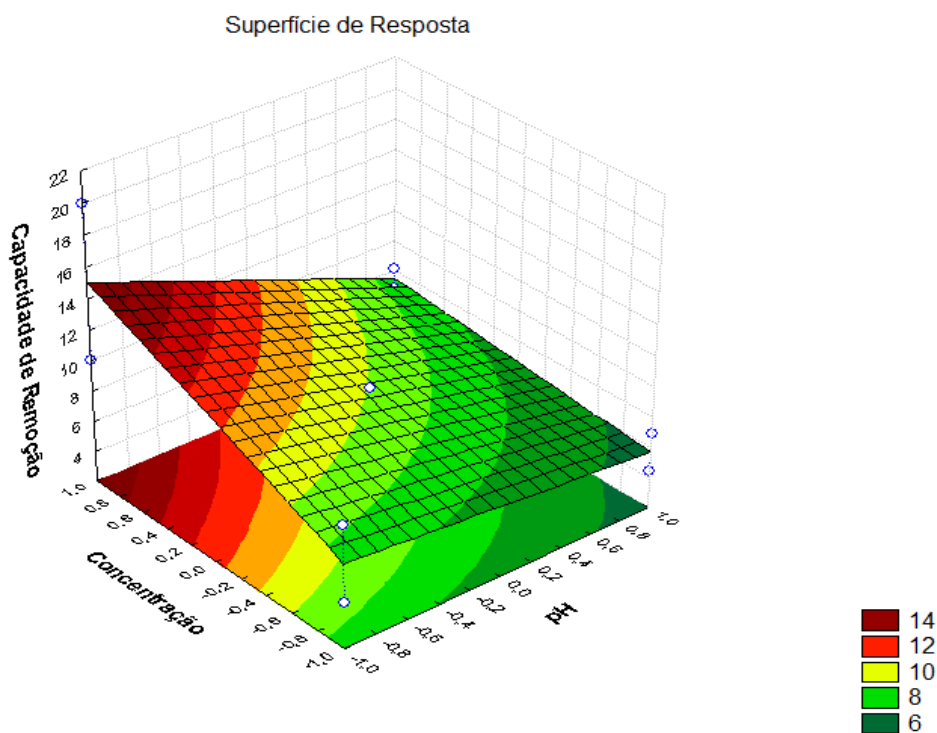
Figura 9 - Superfície de resposta para a capacidade de remoção da turfa em função da massa do adsorvente e do pH da solução



Fonte: Autoria Própria (2016)

A Figura 9 mostra a superfície de resposta para a capacidade de remoção da turfa em função da relação entre a $M_{\text{adsorvente}}/V_{\text{solução}}$ (x_1) e do pH da solução (x_2). A maior capacidade de remoção é obtida quando se diminui a relação entre a $M_{\text{adsorvente}}/V_{\text{solução}}$ e o pH da solução.

Figura 10 - Superfície de resposta para a capacidade de remoção da turfa em função da concentração e do pH da solução



Fonte: Autoria Própria (2016)

A Figura 10 mostra a superfície de resposta para a capacidade de remoção da turfa em função da relação entre a concentração da solução (x_3) e do pH da solução (x_2). A maior capacidade de remoção é obtida quando se diminui a relação entre o pH da solução e aumenta a concentração.

As Tabelas 3 e 4 mostram a análise de variância para a percentagem de remoção e para a capacidade de remoção, respectivamente.

Tabela 3- Análise de variância para a percentagem de remoção do corante reativo azul.

Fonte de variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F _{calculado} (95%)	F _{tabelado} (95%)	F _{cal} /F _{tab}
Regressão	3716,74	6	619,46	13,83	6,16	2,24
Resíduos	179,18	4	44,79			
Falta de Ajuste	179,10	2	89,55	2282,41	19,00	120,13
Erro puro	0,0785	2	0,04			
Total	3895,92	10				
% de variação explicada:		95,40	%			
% máxima de variação explicável:		100,00	%			

Fonte: Autoria Própria (2016).

A análise de variância para o percentual de remoção, através dos dados obtidos na Tabela 3, apresentou um coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,9540, explicando 95,40% da variação total das respostas. Chegando a conclusão que o modelo é estatisticamente significativo, pois $F_{cal}/F_{tab} > 1$, mas não é preditivo ($F_{cal}/F_{tab} < 10$) e apresenta falta de ajuste ($F_{cal}/F_{tab} > 1$). O modelo linear não se apresentou muito satisfatório.

Tabela 4- Análise de variância para a capacidade de remoção da turfa

Fonte de variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Média Quadrática	F _{calculado} (95%)	F _{tabelado} (95%)	F _{cal} /F _{tab}
Regressão	160,24	6	26,71	11,15	6,16	1,81
Resíduos	9,58	4	2,40			
Falta de Ajuste	9,58	2	4,79	12208,64	19,00	642,56
Erro puro	0,0008	2	0,00			
Total	169,82	10				
% de variação explicada:		94,36	%			
% máxima de variação explicável:		100,00	%			

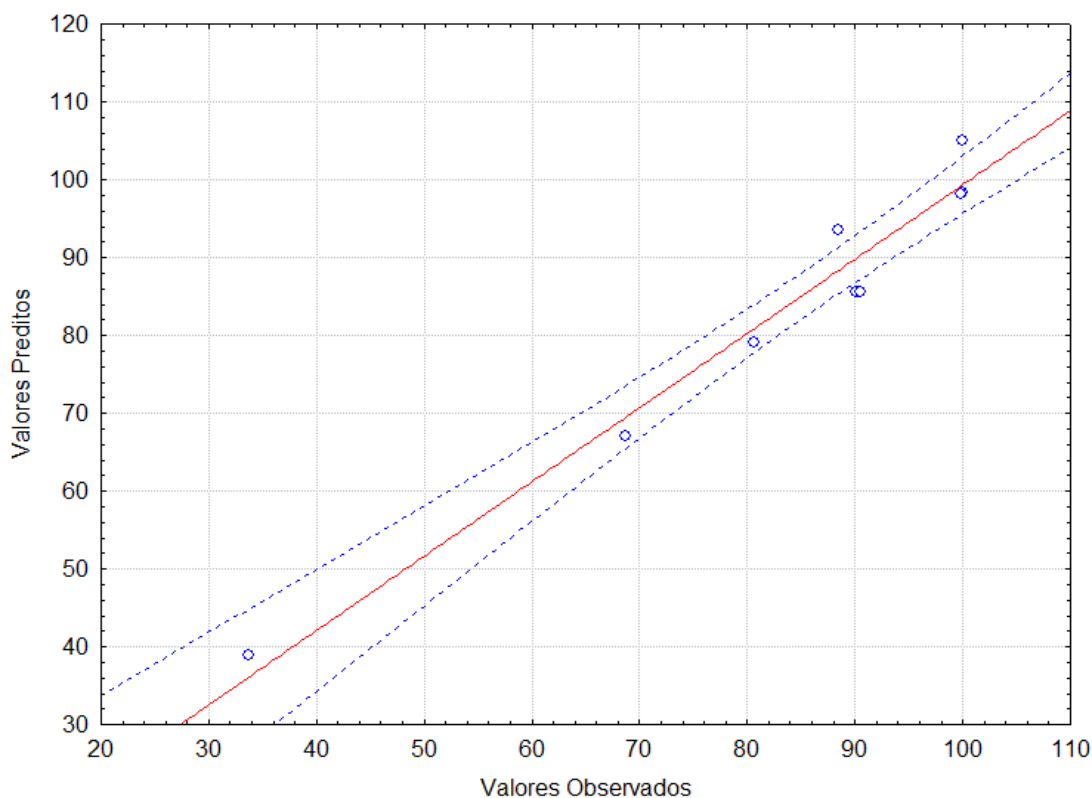
Fonte: Autoria Própria (2016).

Analisando os dados obtidos na Tabela 4, análise de variância para a capacidade de remoção da turfa, percebe-se que o modelo apresentou um coeficiente de determinação (R^2) igual a 0,9436, explicando 94,36% da variação total das respostas. Na verificação da regressão, como $F_{cal}/F_{tab} > 1$, a regressão é estatisticamente significativa, mas não é preditiva ($F_{cal}/F_{tab} < 10$) e apresenta falta de ajuste. O modelo linear não apresentou-se muito

satisfatório. Para ambas as respostas estudadas de percentual de remoção e de capacidade de remoção propõem-se em trabalhos futuros ajustar os dados a um modelo quadrático.

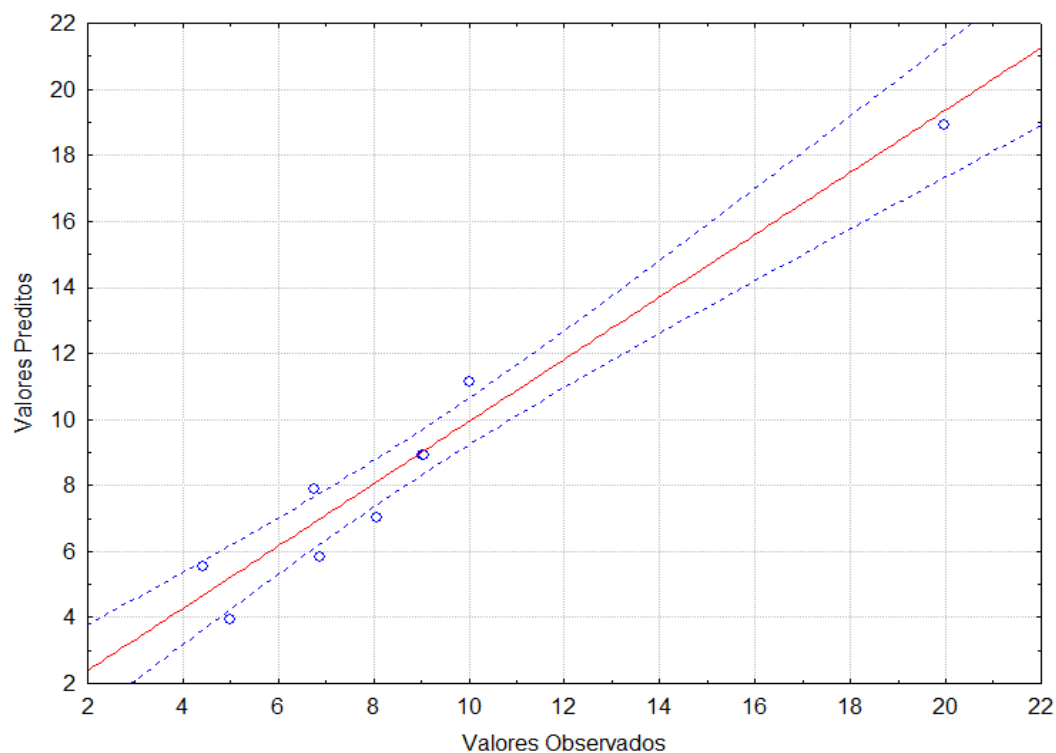
Para a percentagem de remoção do corante azul reativo BF-5G, o diagrama de dispersão dos valores calculados em função dos valores observados e o ajuste da regressão (linha sólida), para um intervalo de confiança de 95 % estão mostrados na Figura 11. Verifica-se, de acordo com o ajuste do modelo, que quase todos os pontos estão dentro do limite de confiança estabelecido (linha tracejada) com 2 pontos fora do limite de confiança, evidenciando que o modelo não é preditivo.

Figura 11-Diagrama de dispersão dos valores calculados em função dos valores observados, para a percentagem de remoção com limites de confiança de $\pm 95\%$.



Fonte: Autoria Própria (2016)

Figura 12 - Diagrama de dispersão dos valores calculados em função dos valores observados, para a capacidade de remoção com limites de confiança de $\pm 95\%$.



Fonte: Autoria Própria (2016)

A Figura 12 mostra o diagrama de dispersão dos valores calculados em função dos valores observados e o ajuste da regressão (linha sólida), para um intervalo de confiança de 95% para a capacidade de remoção da turfa. Verifica-se, de acordo com o ajuste do modelo, que quase todos os pontos estão dentro do limite de confiança estabelecido (linha tracejada), com 3 pontos fora do limite de confiança, mostrando que o modelo não é preditivo.

5. CONCLUSÃO

Através do planejamento experimental foi possível verificar a influência dos parâmetros: relação entre massa de adsorvente por 50 mL de solução, o pH e a concentração da solução, sobre a percentagem de remoção e a capacidade de remoção da turfa para o corante reativo Azul BF-5G. De um modo geral o modelo proposto pelo planejamento experimental 2^3 não se ajustou bem aos dados, mas foi significativo, conseguindo explicar 95,40% da variação total das respostas para o percentual de remoção e 94,36% da variação total das respostas para a capacidade de remoção. Observa-se um aumento dos percentuais de remoção com a diminuição do pH e um aumento da relação entre a massa de adsorvente e o volume de solução. O percentual de remoção da turfa para o corante reativo azul BF-5G foi de 100%. Assim, a turfa pode ser considerada um bom adsorvente, devido à sua boa eficiência.

6. REFERÊNCIAS

- ABRAHÃO, A. J.; SILVA, G. A. **“Influência de alguns contaminantes na toxicidade aguda de efluentes da indústria têxtil”**. Revista Química Têxtil 67, pp. 8-34. 2002.
- BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I.; BRUNS, R. **Planejamento e otimização de experimentos**. UNICAMP, Campinas, 1996.
- BITTON, G. **Wastewater Microbiology**. Ed. Wiley-Liss, New York. 1994.
- CALADO, V; MONTGOMERY, D. C. **Planejamento de Experimentos usando o Statistic**. Rio de Janeiro: E-papers serviços editoriais, 2003.
- CARVALHO, T. E. M. **Adsorção de Corantes Aniônicos de Solução Aquosa em Cinza Leve de Carvão e Zeólita de Cinza Leve de Carvão**. Dissertação de Mestrado. Autarquia Associada à Universidade de São Paulo. São Paulo – SP. f. 119. 2010.
- CERQUEIRA, A. A. **Aplicação da Técnica de Eletrofloculação no Tratamento de Efluentes Têxteis**. 2006. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Instituto de Química, Centro de Tecnologia e Ciências, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <<http://livros01.livrosgratis.com.br/cp001405.pdf>>. Acesso em: 25 out. 2016.
- CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente, Resolução N° 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005.
- CUEVAS, L. A. S. **ADSORÇÃO DE CORANTES EM TURFA DE ORIGEM MAGALHÂNICA**. 2011. 200 f. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, 2011.
- FRANCHI, J. G. **A UTILIZAÇÃO DE TURFAS COMO ADSROVENTE DE METAIS PESADOS: O exemplo da contaminação da bacia do Rio Ribeira de Iguape por chumbo e metais associados**. 2004. 198 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
- GÓES FILHO, L. S. **Caracterização e estudos cinéticos de albumina tratada com espécies reativas derivadas de óxidos de nitrogênio: espectroscopia de absorção e fluorescência**. 84f. Dissertação (Mestrado em Física) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.
- GUARATINI, C. C. I; ZANONI, M.V.B. Textile dyes. **Química Nova**, São Paulo, v. 23, p. 71-78, 2000.
- KIMURA, I.Y.; GONÇALVES JUNIOR, A.C.; STOLBERG, J.; LARANJEIRA, M.C.M.; FÁVERE, V.T. **“Efeito do pH e do tempo de contato na adsorção de corantes reativos por microesferas de quitosana”**. Polímeros: Ciência e Tecnologia, 3:51-57, 1999.
- MCCABE, W. L.; SMITH, J. C.; HARRIOT, P. **Units operations of chemical engineering**. 5. ed. New York: McGraw Hill, 1993.

MONTEIRO, G. de S. **Adsorção de Corantes Reativos em Meio Aquoso Utilizando Argilas Nacionais**. Tese (Doutorado) - Engenharia Química, UFCG, Campina Grande- PB, 2016.

MONTGOMERY, D. C. **Design and Analysis of Experiments**. 7th Edition. Wiley, 2009.

MORAES, S. G., **Processo fotocatalítico combinado com sistemas biológicos no tratamento de efluentes têxteis**. Tese de Doutorado do Instituto de Química, Unicamp, Campinas SP, p.141, 1999.

MOREIRA, P. N. T. **Planejamento e otimização de um método quimiluminescente para determinação da vitamina B12 usando um sistema fluxo-batelada**. 96f. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2009.

OLIVEIRA, D. P. **Corantes como importante classe de contaminantes ambientais- um estudo de caso**. 2005. 121 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

Ruthven, D. M., (1984), **Principles of Adsorption and Adsorption Processes**, John Wiley & Sons: New York.

SANTOS, L. R. **Espectrofotometria**. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/quimica/espectrofotometria/>>. Acesso em: 20 out. 2016.

ZAMORA, P. P., TIBURTIUS, E. R. L., MORAES, S. G. **“Degradação enzimática de corantes”**. Revista Química Têxtil 68, pp. 32-38. 2002a.