ESTUDO DA ADSORÇÃO DE CORANTES DA INDÚSTRIA TÊXTIL USANDO CARVÃO ATIVADO E O PÓ RETIDO NO FILTRO ELETROSTÁTICO DA FABRICAÇÃO DA ALUMINA COMO ADSORVENTES

ELIZABETH GONÇALVES RUTZ

Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP
Pós-Graduação em Engenharia Ambiental
Mestrado em Engenharia Ambiental

Prof. Dr. Cornélio de Freitas Carvalho
Orientador – DEQUI / UFOP

Ouro Preto, MG. Brasil.
2007

Ministério da Educação
Universidade Federal de Ouro Preto
Programa de Mestrado em Engenharia Ambiental
ICEB - Campus – Morro do Cruzeiro
Ouro Preto – MG – CEP 35.400-000
Fone: (031)3559-1725
E-mail: proagua@iceb.ufop.br

"Estudo da adsorção de corantes da indústria têxtil usando carvão ativado e o pó retido no filtro eletrostático da fabricação da alumina como adsorventes"

Autor: Elizabeth Gonçalves Rutz

Dissertação defendida e aprovada, em 17 de agosto de 2007, pela banca examinadora constituída pelos professores:

Professor Dr. Cornélio de Freitas Carvalho - Orientador
Universidade Federal de Ouro Preto

Professor Dr. César Reis
Universidade Federal de Viçosa

Professor Dr. Maurício Xavier Coutrim
Universidade Federal de Ouro Preto

R982e Rutz, Elizabeth Gonçalves.
Estudo da adsorção de corantes da indústria têxtil usando carvão ativado e o pó retido no filtro eletrostático da fabricação da alumina como adsorventes [manuscrito] / Elizabeth Gonçalves Rutz. - 2007.
xiii, 120f. : graf.; tabs.

Orientador: Prof. Dr. Cornélio de Freitas Carvalho.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Instituto de Ciências Exatas e Biológicas. Mestrado em Engenharia Ambiental.

Área de concentração: Recursos Hídricos.

1. Adsorção - Teses. 2. Carbono ativado -Teses. 3. Alumina - Teses. 4. Efluente têxtil - Teses. I. Universidade Federal de Ouro Preto. II. Título.

CDU: 628.5

Catalogação: sisbin@sisbin.ufop.br

Agradecimentos

À minha família, pelo incentivo, amor e compreensão.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Cornélio de Freitas Carvalho, pelo apoio, confiança e dedicação na realização deste trabalho.

Aos amigos do Laboratório de Análises de Águas e Efluentes do ICEB: Carulini, Gustavo, Carlúcio, Miria, Emily, Laura e Michael, pela valiosa ajuda e amizade.

Às minhas amigas, companheiras e confidentes, Dani, Maria, July, Flávia e Liana que mostraram ser amigas de verdade em diversas ocasiões.

Aos demais amigos de curso, pela convivência, pelas conversas e apoio.

Ao amigo Eduardo pela ajuda e incentivo.

À Tia Dolores e Tio Domingos, pelo acolhimento, carinho e incentivo, e às meninas do pensionato, pela paciência e palavras de apoio.

Aos Professores do Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, pelos ensinamentos.

Aos Professores Jorge C. de Lena, Jorge Luiz Humberto e Kátia Monteiro Novack pelas sugestões e auxílio nas análises dos corantes.

À Professora Cláudia Dumans Guedes e ao Professor José Fernando de Paiva pelo apoio e incentivo.

À Junaia, pela ajuda na coleta de efluente.

À todas as pessoas que, à sua maneira, contribuíram para a realização deste trabalho.

Resumo

Atualmente os resultados de tratamentos dos efluentes do setor têxtil não tem sido satisfatório. Uma nova tendência é a aplicação de processos que, combinados, podem melhorar a eficiência do sistema. Baseado nestes fatores, o objetivo deste trabalho foi avaliar a capacidade de adsorção de corantes, usados rotineiramente na indústria têxtil, usando carvão ativado e um dos rejeitos da fabricação da alumina – o pó retido no filtro eletrostático - como adsorventes, bem como a aplicação dos mesmos em combinação com o sistema de lodos ativados.

Os adsorventes foram caracterizados e em seguida foram realizados ensaios com corantes puros, para estabelecer o tempo de equilíbrio e a massa do adsorvente. Posteriormente, foram feitos testes de adsorção em diferentes pH's e, para entender o mecanismo de adsorção dos corantes, os resultados foram ajustados segundo o modelo de isotermas de adsorção de Langmuir e Freundlich. Foram realizadas análises físico-químicas do efluente bruto e o efluente tratado pelo sistema de lodos ativados. A aplicabilidade dos adsorventes combinados ao sistema de lodos ativados foi testada com relação à redução da DQO.

Para a maioria dos corantes analisados, o tempo de equilíbrio foi atingido com 1 hora de agitação. O rejeito da fabricação da alumina mostrou maior eficiência de remoção de corante em comparação ao carvão ativado em todos os testes de adsorção com corantes puros. Os melhores resultados foram obtidos com a utilização de 0,5 grama do rejeito, revelando uma porcentagem média de remoção de corante entre 25 e 90%. O modelo de Langmuir mostrou-se mais adequado para descrever o mecanismo de adsorção da maioria dos corantes, com adsorção geralmente favorecida em pH = 7. As análises físico-químicas do efluente gerado pela indústria têxtil mostraram que alguns parâmetros, por exemplo, a DQO, se encontra fora da faixa estabelecida pela Legislação. O processo de adsorção foi eficiente para reduzir a DQO do efluente industrial bruto. A combinação do efluente industrial tratado pelo sistema de lodos ativados e adsorção utilizando carvão ativado foi a mais eficiente, com uma média de 45% na redução da DQO. Utilizando o rejeito da fabricação da alumina, a redução de DQO foi menor, em torno de 30%.

Os ensaios realizados neste trabalho mostraram a aplicabilidade de um rejeito industrial como adsorvente. Assim, ressalta-se a importância da continuidade deste estudo, visando maior eficiência do processo de tratamento de efluentes, em menor tempo e minimizando os custos de implantação do projeto.

Abstract

Nowadays, the results of wastewater treatments of the textile sector haven´t been satisfactory. A new tendency is the application of processes that, combined, can improve the efficiency of the system. Based on these factors, the aim of this work was to evaluate the capability of adsorption of dyes used commonly in the textile industry, using activated carbon with one of the residues of the alumina manufacturing process – the powder retained at the electrostatic filter – as adsorbents, as well as their application combined to the activated sludge process.

The adsorbents were characterized and then tests were conducted with pure dyes, to establish the time equilibrium and the mass of the adsorbent. Afterwards adsorption tests were conducted in different pHs and to understand the mechanism of the adsorption of the dyes, the results were adjusted following the model of isotherms of adsorption of Langmuir and Freundlich. Physical-chemical analyses were provided using crude effluent and effluent treated at the activated sludges treatment process. The applicability of the combined absorbents to the activated sludges systems was tested according to the reduction of the COD.

To the most of the analyzed dyes, the time equilibrium was reached within 1 hour of agitation. The residue of alumina manufacturing showed a better efficiency of the removal of the dye comparing to the activated carbon in all of the adsorption tests with pure dyes. The best results were determined using 0,5 grams of the residue, revealing an average percentage of dye removal around 25 to 90%. Langmuir model showed to be the most adequate to describe the mechanism of adsorption of most of the dyes, easier on pH=7. The physical-chemical analyses of the effluent generated by the textile industry showed that some parameters, as the COD, is out of what is established by the Brazilian Legislation. The adsorption process was efficient to reduce the COD of the crude industrial effluent. The combination of treated industrial effluent by the activated carbon system and adsorption using activated carbon was the most efficient, with an average of 45% in the reduction of the COD. Using the residue of alumina manufacture, the reduction of the COD was smaller, just around 30%.

The tests conducted in this work provided the applicability of an industrial residue as an adsorbent. In that way, the importance of the continuation of this research is emphasized, aiming for an improvement of the effluent processes, in a shorter period of time and minimizing the costs of the projects.

Sumário

Lista de Figuras.....VIII
Lista de Quadros.....XI
Lista de Tabelas.....XII

1. INTRODUÇÃO.....01
1.1 Objetivos.....02

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....03
2.1 Descrição do Processo Produtivo.....03
2.2 Corantes Têxteis.....05
2.3 Tratamento de Efluentes Têxteis.....07
2.4 O Processo de Adsorção.....09
2.5 Tratamento de Efluentes por Adsorção.....10
2.6 Carvão Ativado.....12
2.7 Rejeito da Fabricação da Alumina.....13
2.8 Cinética de Adsorção.....15
2.8.1 Isoterma de Langmuir.....15
2.8.2 Isoterma de Freundlich.....16

3. METODOLOGIA.....17
3.1 Caracterização dos Adsorventes.....17
3.1.1 Caracterização do Rejeito da Fabricação da Alumina.....17
3.1.2 Caracterização do Carvão Ativado.....18
3.2 Caracterização dos Corantes Têxteis.....18
3.2.1 Principais Características dos Corantes Estudados.....19
3.2.2 Espectros de Absorção.....23
3.2.3 Curvas Analíticas.....23
3.2.4 Análise Térmica.....23
3.3 Testes de Adsorção com Corantes Puros.....23
3.3.1 Testes para Estabelecer o Tempo de Equilíbrio e a Massa de Adsorvente.....23
3.3.2 Testes de Adsorção.....24

3.3.3 Isotermas de Adsorção.....24
3.4 Análises das Amostras de Efluentes.....25
3.5 Tratamento dos Efluentes.....25

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....27
4.1 Caracterização dos Adsorventes.....27
4.2 Caracterização dos Corantes Têxteis.....29
4.2.1 Curvas Analíticas dos Corantes Estudados.....29
4.2.2 Análise Térmica.....32
4.3 Testes de Adsorção com Corantes Puros.....34
4.3.1 Testes para Estabelecer o Tempo de Equilíbrio e a Massa de Adsorvente.....34
4.3.2 Estudo da Cinética de Adsorção em diferentes pH's.....36
4.4 Análises das Amostras de Efluentes.....53
4.5 Tratamento dos Efluentes.....55

5. CONCLUSÃO.....61

6. RECOMENDAÇÕES.....62

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....63

ANEXO A – Dados experimentais para a construção das curvas analíticas dos corantes.....69

ANEXO B – Dados experimentais dos ensaios para estabelecer o tempo de equilíbrio e massa de adsorvente.....79

ANEXO C – Dados experimentais dos ensaios de adsorção.....94

Lista de Figuras

Figura 2.1: Fluxograma simplificado dos processos nas etapas de acabamento de tecidos (Fonte: LEÃO *et al*, 2002).....03

Figura 2.2: Processo Bayer de obtenção da alumina (Fonte: SANTOS, 1997).....14

Figura 4.1: Espectro no infravermelho (IV) do carvão ativado.....28

Figura 4.2: Curvas Analíticas dos Corantes: (a) Amarelo de Drimarem, em 399 nm; (b) Amarelo Dianix, em 501 nm; (c) Amarelo Remazol, em 417 nm e (d) Azul Dianix, em 629 nm.....30

Figura 4.3: Curvas Analíticas dos Corantes: (a) e (b) Azul de Drimarem, em 610 nm; (c) Azul Procion, em 620 nm e (d) Vermelho Dianix, em 518 nm.....31

Figura 4.4: Curva TGA-DTA para o corante Azul Dianix.....32

Figura 4.5: Curva DSC para os corantes caracterizados.....33

Figura 4.6: Corante Amarelo de Drimarem: (a) Equação de Langmuir, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 7; (b) Equação de Freundlich, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 7.....37

Figura 4.7: Corante Amarelo de Drimarem: (a) Equação de Langmuir, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 4; (b) Equação de Freundlich, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 4.....38

Figura 4.8: Corante Amarelo de Drimarem: (a) Equação de Langmuir, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 10; (b) Equação de Freundlich, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 10.....39

Figura 4.9: Corante Amarelo Remazol: (a) Equação de Langmuir, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 7; (b) Equação de Freundlich, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 7.....41

Figura 4.10: Corante Amarelo Remazol: (a) Equação de Langmuir, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 4; (b) Equação de Freundlich, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 4.....42

Figura 4.11: Corante Amarelo Remazol: (a) Equação de Langmuir, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 10; (b) Equação de Freundlich, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 10.....43

Figura 4.12: Corante Azul de Drimarem: (a) Equação de Langmuir, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 7; (b) Equação de Freundlich, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 7.....44

Figura 4.13: Corante Azul de Drimarem: (a) Equação de Langmuir, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 4; (b) Equação de Freundlich, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 4.....45

Figura 4.14: Corante Azul de Drimarem: (a) Equação de Langmuir, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 10; (b) Equação de Freundlich, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 10.....46

Figura 4.15: Corante Azul Dianix: (a) Equação de Langmuir, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 7; (b) Equação de Freundlich, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 7.....47

Figura 4.16: Corante Azul Dianix: (a) Equação de Langmuir, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 4; (b) Equação de Freundlich, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 4.....48

Figura 4.17: Corante Azul Dianix: (a) Equação de Langmuir, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 10; (b) Equação de Freundlich, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 10.....49

Figura 4.18: Corante Vermelho Dianix: (a) Equação de Langmuir, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 7; (b) Equação de Freundlich, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 7.....50

Figura 4.19: Corante Vermelho Dianix: (a) Equação de Langmuir, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 4; (b) Equação de Freundlich, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 4.....51

Figura 4.20: Corante Vermelho Dianix: (a) Equação de Langmuir, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 10; (b) Equação de Freundlich, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 10.....52

Figura 4.21: Espectro de varredura na região do UV-visível para o efluente têxtil bruto e tratado com e sem adsorção, usando 3,0 gramas do adsorvente em um tempo de agitação de 6 horas, referente a 1ª amostragem.....56

Figura 4.22: Espectro de varredura na região do UV-visível para o efluente têxtil bruto e tratado com e sem adsorção, usando 2,0 gramas do adsorvente em um tempo de agitação de 2 horas, referente a 2ª amostragem.....57

Figura 4.23: Espectro de varredura na região do UV-visível para o efluente têxtil bruto e tratado, após adsorção, usando 0,5 e 3,0 gramas do adsorvente em um tempo de agitação de 6 horas, referente a 2ª amostragem.....60

Lista de Quadros

Quadro 3.1: Dados relativos ao corante Amarelo de Drimarem (BECHTOLD; MADER e MADER, 2002).....19

Quadro 3.2: Dados relativos ao corante Amarelo Remazol (MACEDO *et al*, 2006).....20

Quadro 3.3: Dados relativos ao corante Amarelo Dianix (RUAN e SONG, 2007).....20

Quadro 3.4: Dados relativos ao corante Azul de Drimarem (GRUENWALD; BURTSCHER e BOBLETER, 1992).....21

Quadro 3.5: Dados relativos ao corante Azul Dianix (CHOU; MATSUI e MATSUDA, 2006).....21

Quadro 3.6: Dados relativos ao corante Azul Procion (OUYANG *et al*, 2007).....22

Quadro 3.7: Dados relativos ao corante Vermelho Dianix (IRITA *et al*, 2007).....22

Lista de Tabelas

Tabela 4.1: Análise granulométrica do rejeito da fabricação da alumina – pó retido no filtro eletrostático.....27

Tabela 4.2: Resultados da Análise BET para o rejeito da fabricação da alumina – pó retido no filtro eletrostático.....27

Tabela 4.3: Valores de alcalinidade, acidez e pH do rejeito da fabricação da alumina – pó retido no filtro eletrostático.....28

Tabela 4.4: Comprimento de onda de máxima absorção ($\lambda_{máx}$) dos corantes estudados.....29

Tabela 4.5: Concentração média de corante em função do tempo de agitação, usando 0,50 grama do rejeito da fabricação de alumina.....34

Tabela 4.6: Comparação das constantes de Langmuir e Freundlich obtidas pelo processo de linearização do corante Amarelo de Drimarem em função do pH do meio.....40

Tabela 4.7: Comparação das constantes de Langmuir e Freundlich obtidas pelo processo de linearização do corante Amarelo Remazol em função do pH do meio.....44

Tabela 4.8: Comparação das constantes de Langmuir e Freundlich obtidas pelo processo de linearização do corante Azul de Drimarem em função do pH do meio.....47

Tabela 4.9: Comparação das constantes de Langmuir e Freundlich obtidas pelo processo de linearização do corante Azul Dianix em função do pH do meio.....50

Tabela 4.10: Comparação das constantes de Langmuir e Freundlich obtidas pelo processo de linearização do corante Vermelho Dianix em função do pH do meio.....53

Tabela 4.11: Resultados das análises dos parâmetros físicos e físico-químicos realizadas com o efluente bruto e tratado.....54

Tabela 4.12: Ensaios de adsorção do efluente industrial com 3,0 gramas de adsorvente e tempo de agitação de 6 horas à temperatura ambiente – 1ª amostragem.....55

Tabela 4.13: Ensaios de adsorção do efluente industrial com 2,0 gramas de adsorvente e tempo de agitação de 2 horas à temperatura ambiente – 2ª amostragem.....57

Tabela 4.14: Ensaios de adsorção do efluente industrial com 2,0 gramas de adsorvente e tempo de agitação de 6 horas à temperatura ambiente – 2ª amostragem.....58

Tabela 4.15: Ensaios de adsorção do efluente industrial com 3,0 gramas de adsorvente e tempo de agitação de 6 horas à temperatura ambiente – 2ª amostragem.....59

Tabela 4.16: Ensaios de adsorção do efluente industrial com 0,5 grama de adsorvente e tempo de agitação de 6 horas à temperatura ambiente – 2ª amostragem.....59

1. Introdução

A contaminação de águas naturais tem sido um dos grandes problemas enfrentados pela sociedade moderna. A perspectiva futura de escassez de água acarreta uma elevação de custos para a sua captação e, devido a isso, nos deparamos hoje com uma legislação cada vez mais restritiva para emissão de efluentes.

Diante disso, o setor têxtil apresenta um especial destaque em relação ao volume de efluentes gerados, caracterizados por serem fortemente coloridos, devido à presença de corantes, os quais não se fixam na fibra durante o processo de tingimento do tecido.

Estes corantes interferem no crescimento de bactérias, levando a uma menor degradação das impurezas presentes na água. Podem, também, afetar a fotossíntese das plantas aquáticas e produzir efeitos crônicos nos organismos expostos. Além de causarem prejuízo a toda biota aquática, estudos recentes têm mostrado que algumas classes de corantes, principalmente azocorantes, podem ser carcinogênicos e/ou mutagênicos.

O Conselho de Política Ambiental (COPAM), órgão responsável pela formulação e execução da política ambiental em Minas Gerais, estabelece na Deliberação Normativa 10/86 (DN10/86) as normas e padrões para a qualidade das águas e lançamento de efluentes. Como a maior parte das indústrias têxteis de Minas Gerais não consegue atingir o valor de DQO, estabelecido pela DN10/86 (COPAM, 1986) para efluente, o COPAM elevou este valor para 250,0 $mg.L^{-1}$ (COPAM, 2001).

Recentemente, o CONAMA publicou novas normas sobre qualidade de água e lançamento de efluentes (CONAMA, 2005). Em relação ao setor têxtil, sabe-se que o resultado do tratamento dos efluentes não tem sido satisfatório, ou seja, alguns resultados de parâmetros físico-químicos dos efluentes não obedecem aos padrões de lançamento.

Devido às implicações ambientais citadas, novas tecnologias têm sido estudadas para a degradação ou imobilização destes compostos em efluentes têxteis. A adsorção é geralmente usada na remoção de contaminantes orgânicos e inorgânicos, presentes em efluentes industriais, cuja remoção seria difícil por processos convencionais.

Existe um crescente interesse no uso de materiais adsorventes sólidos de baixo custo para o tratamento de efluentes têxteis.

Em um trabalho realizado anteriormente no laboratório de Análises de Águas e Efluentes do ICEB (Instituto de Ciências Exatas e Biológicas) da UFOP (LACERDA, 2004), verificou-se que o tratamento de floculação química e o de lodos ativados não são suficientes para adequar o efluente da indústria têxtil às normas ambientais.

1.1. Objetivos

Os principais objetivos deste trabalho são:

- Estudar a adsorção dos corantes Amarelo Remazol, Azul Procion, Amarelo Dianix, Azul Dianix, Azul de Drimarem, Amarelo de Drimarem e Vermelho Dianix, utilizados rotineiramente na indústria têxtil, usando carvão ativado e um dos rejeitos da fabricação da alumina – o pó retido no filtro eletrostático – como adsorventes;
- Ajustar os resultados de adsorção segundo o modelo de isotermas de adsorção de Langmuir e Freundlich;
- Realizar análises físico-químicas do efluente bruto e do efluente tratado pelo sistema de lodos ativados, utilizado por uma indústria têxtil;
- Verificar a aplicabilidade dos adsorventes citados no tratamento deste efluente.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Descrição do Processo Produtivo

A indústria têxtil é uma das maiores produtoras de efluentes líquidos em virtude do grande consumo de água e produtos químicos, em especial nos processos de tingimento e acabamento. São requeridos aproximadamente 80 litros de água para produzir 1 Kg de tecido. Bibliografias fazem referência a valores da ordem de 150 L / Kg, estimando que 88% desse volume seja descartado como efluente e os 12% restantes compõem as perdas por evaporação.

Para se prever a origem, quantidade e características dos poluentes da indústria têxtil é necessário entender como ocorre o processo industrial. A Figura 2.1 mostra o fluxograma dos beneficiamentos primário, secundário e terciário (LEÃO *et al*, 2002).

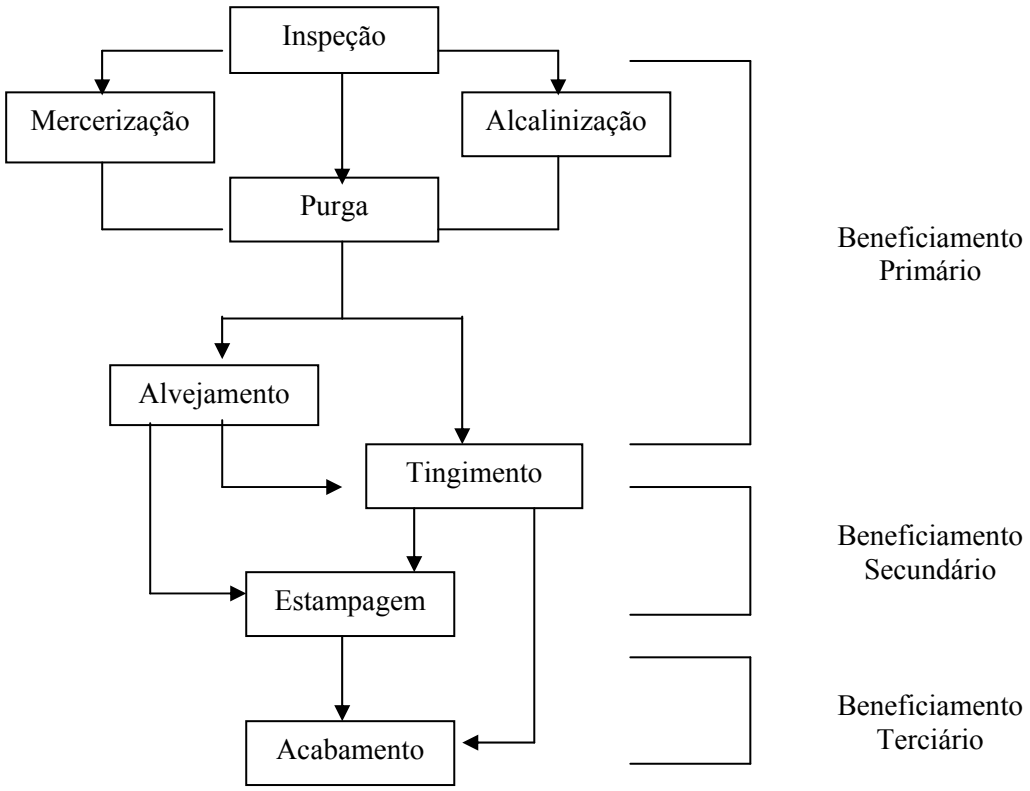


Figura 2.1: Fluxograma simplificado dos processos nas etapas de acabamento de tecidos (Fonte: LEÃO *et al*, 2002).

Após ter sido inspecionada, qualquer peça de tecido produzida pelos teares passa por um processo de mercerização, que consiste em um tratamento com solução de hidróxido de sódio (NaOH) variando entre 20 e 26% de NaOH, a 18°C. A soda que permanece no tecido é neutralizada com ácido clorídrico ou acético, seguido de enxágüe. Na alcalinização, a fibra recebe um tratamento com NaOH à temperatura ambiente. Este processo aumenta a resistência e o poder de absorção de corantes. Para isso, usa-se um agente umectante à base de aminas, ácidos naftênicos e alquil-naftil sulfonatos. O efluente líquido é alcalino, com pH variando entre 12 – 13, elevada concentração de sólidos dissolvidos, óleos e graxas e fibras/fibrilas, que constituem parte dos sólidos suspensos. A celulose, constituinte das fibrilas, não é degradada nos processos biológicos de tratamento.

A purga retira impurezas como óleos, gorduras e lubrificantes. Nesta etapa são adicionados detergentes, umectantes, agentes complexantes, agentes dispersantes e agentes redutores. Um efluente líquido com pH entre 10 e 13 e temperatura de 85°C é produzido nesta etapa. Contém sais dissolvidos, sólidos em suspensão e óleos e graxas, que causam uma demanda de oxigênio. Contribui com até 30% da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5) total dos efluentes têxteis.

O alvejamento é um processo químico que elimina a cor. O alvejante mais utilizado é o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) sendo usado também o hipoclorito de sódio (NaClO), clorito de sódio ($NaClO_2$) e dióxido de enxofre gasoso (SO_2). Devido a estes compostos, o efluente apresenta cloro e é fortemente alcalino. A maior parte da poluição desta etapa é devida aos sólidos dissolvidos. O peróxido de hidrogênio no corpo receptor traz riscos à fauna e flora aquáticas.

No processo de tingimento por exaustão, o mais utilizado no acabamento de malhas, ocorre difusão do corante dissolvido para o interior das fibras. O efluente gerado apresenta forte coloração, sendo responsável pela cor que é transferida ao corpo receptor. Possui corantes e pigmentos de difícil remoção, teor elevado de sólidos e pH variável.

A estampagem confere cor em locais específicos do tecido. Para isso, são usados diversos tipos de corantes, sendo mais comuns os reativos. Uma pasta constituída de emulsão de óleo em água, querosene e alguns auxiliares tais como ligantes, emulsificantes e estabilizantes, constituem o meio dissolvedor de pigmentos utilizados para a estampagem de tecidos. O efluente desta etapa possui alta concentração de DBO e sólidos.

No acabamento, o tecido é adequado à demanda do consumidor, recebendo brilho, relevo e resistência. O volume do efluente é pouco significativo quando comparado às demais etapas, tendo baixa toxicidade e baixa concentração de DBO (LEÃO *et al*, 2002).

2.2. Corantes Têxteis

Corantes são compostos constituídos de um grupo cromóforo, responsável pela cor, e o grupo funcional, que se liga às fibras do tecido. Deve-se ressaltar a diferença entre corantes e pigmentos. Os pigmentos são praticamente insolúveis no meio em que são aplicados e os corantes são aplicados em vários substratos provenientes de um líquido, onde são parcialmente ou completamente solúveis.

Os corantes podem ser classificados de acordo com sua estrutura química ou de acordo com o método de fixação à fibra têxtil. A seguir são mostradas as principais classificações.

Corantes Ácidos: compostos aniônicos, com um ou mais grupos sulfônico ou carboxílico na estrutura molecular; solúveis em água. Estes corantes caracterizam-se por substâncias com estrutura química baseada em compostos azo, antraquinona, triarilmetano, azina, xanteno, ketonimina, nitro e nitroso, que fornecem ampla faixa de coloração e grau de fixação (GUARATINI e ZANONI, 2000). A afinidade fibra-corante é resultante de ligações iônicas entre a parte sulfônica ácida do corante e os grupos amino básicos presentes nas fibras, que são convertidos em grupos catiônicos pela adição de ácido no processo de tingimento (LEÃO *et al*, 2002).

Corantes Azóicos (Naftóis): insolúveis em água; são sintetizados sobre a fibra durante o tingimento (GUARATINI e ZANONI, 2000). Constituídos de dois compostos quimicamente reativos, que são aplicados à fibra em dois estágios, produzindo pigmento insolúvel dentro da fibra. Seu uso tem declinado nos últimos anos por causa dos custos de aplicação e suspeitas quanto à possível presença de naftilaminas carcinogênicas no efluente (LEÃO *et al*, 2002).

Corantes Básicos: compostos catiônicos, com baixa solubilidade em água. Ligações iônicas são formadas entre o cátion, no corante, e os sítios aniônicos da fibra (LEÃO *et al*, 2002).

Corantes à Cuba: são usados no tingimento e estamparia de algodão e fibras celulósicas, ou em produtos que requeiram boa resistência a vários agentes. São fornecidos tanto na forma reduzida leuco, solúvel em água, quanto na forma oxidada, insolúvel em água e solúvel em solução alcalina, que deve ser reduzida. Na forma reduzida o corante migra para fibra e uma vez completa a migração, o substrato é lavado e o corante é re-oxidado à sua forma insolúvel,

dentro da fibra (LEÃO *et al*, 2002). É uma importante classe de corantes baseada nos índigos, tioindigóides e antraquinóides (GUARATINI e ZANONI, 2000).

Corantes Diretos: compostos aniônicos, solúveis em água. A estrutura molecular dos corantes diretos é estreita e plana, permitindo que estas moléculas se alinhem com as fibrilas planas da celulose, sendo as moléculas do corante retidas por forças de Van der Waals e ligações de hidrogênio. Os corantes são absorvidos dentro das fibras hidrofílicas à medida em que elas se expandem na solução aquosa (LEÃO *et al*, 2002). Esta classe de corantes é constituída principalmente por corantes contendo mais de um grupo azo (diazo, triazo, etc.) ou pré-transformados em complexos metálicos. A vantagem desta classe de corante é o alto grau de exaustão durante a aplicação e conseqüente diminuição do conteúdo do corante nas águas de rejeito (GUARATINI e ZANONI, 2000).

Corantes Dispersos: compostos aniônicos, com baixa solubilidade em água, comercializados nas formas pulverizada e líquida. São aplicados como uma dispersão de particulados muito finos no banho (LEÃO *et al*, 2002). Esta classe de corante tem sido utilizada para tinturas de fibras sintéticas como acetato celulose, nylon, poliéster e poliacrilonitrila (GUARATINI e ZANONI, 2000).

Corantes ao Enxofre: muito resistentes a agentes oxidantes e resistentes á remoção por lavagem. São insolúveis em água e reduzidos em solução alcalina de agentes redutores. Na forma reduzida são solúveis em água e tem afinidade por celulose. Após absorção pela fibra, são oxidados com peróxido, voltando à forma original insolúvel dentro das fibras. O uso de corantes ao enxofre tem diminuído devido aos resíduos contendo sulfetos, gerados nos processos de tingimento (LEÃO *et al*, 2002).

Corantes Reativos: compostos aniônicos, solúveis em água. Formam ligações covalentes com a fibra, tornando-se parte dela. Esta ligação confere maior estabilidade na cor do tecido tingido quando comparado a outros tipos de corante em que o processo de coloração se opera através de ligações da maior intensidade (LEÃO *et al*, 2002). Os principais contêm a função azo e antraquinona como grupos cromóforos e os grupos clorotriazinila e sulfatoetilsulfonila como grupos reativos (GUARATINI e ZANONI, 2000).

Corantes Pré-Metabolizados: são caracterizados pela presença de um grupo hidroxila ou carboxila na posição orto em relação ao cromóforo azo, permitindo a formação de complexos com íons metálicos. Um exemplo comum é o complexo cromo-corante, cuja desvantagem está associada ao alto conteúdo deste metal nas águas de rejeito (GUARATINI e ZANONI, 2000).

Corantes Branqueadores: corantes brancos ou branqueadores fluorescentes tem a propriedade de diminuir a tonalidade amarelada de fibras têxteis. Apresentam grupos carboxílicos, azometino ou etilênicos aliados a sistemas benzênicos, naftalênicos, pirênicos e anéis aromáticos que proporcionam reflexão por fluorescência na região de 430 a 440 nm quando excitados por luz ultravioleta (GUARATINI e ZANONI, 2000).

2.3. Tratamentos de Efluentes Têxteis

Nos últimos tempos, devido ao aumento da conscientização e rigidez das regras ambientais, o desenvolvimento de tecnologia adequada para tratamento de efluentes tem sido objeto de grande interesse.

Na literatura são encontradas diversas técnicas para descoloração das águas de rejeito. As principais envolvem processos de adsorção, precipitação, degradação química, degradação eletroquímica, degradação fotoquímica e biodegradação. A maior parte das indústrias têxteis utiliza processos de oxidação biológica para descoloração de efluentes. No entanto, este tratamento não é eficiente na remoção de cor, sendo usado principalmente devido à sua capacidade de redução de matéria orgânica.

A cor excessiva dos efluentes das operações de tingimento constitui um problema que o setor têxtil enfrenta. A toxicidade de alguns corantes pode comprometer o tratamento biológico, por inibirem a atividade bacteriana (LEÃO *et al*, 2002).

Muitos estudos têm mostrado a utilização de microrganismos como material adsorvente na remoção de corantes em meio aquoso. FAHL *et al* (2004) realizaram ensaios de biosorção em diferentes pH's usando concentração variável de biomassa e concentração constante de corante. O fungo *A. oryzae* mostrou-se um eficiente substrato adsorvente, tendo maior capacidade de remoção de corante em meio ácido.

Estudo realizados por MARTINS *et al* (1999) mostraram que o fungo *P. chrysosporium* possui capacidade de biodegradar corantes azo de aplicação têxtil, cujo

impacto ambiental nocivo é aumentado pela formação de aminas aromáticas originadas pela quebra do grupo azo, que ocorre em condições de anaerobiose. Este fungo evita a formação de anilinas e conduz à mineralização do corante.

Os Processos Oxidativos Avançados (POA's) são processos de tratamento de efluentes eficazes e garantem baixo nível de contaminantes. Consistem na formação de hidroxilas (OH^-) que promovem a mineralização de compostos.

Dentre os POA's, a fotocatálise heterogênea tem apresentado grande eficiência na degradação de corantes reativos. Esta técnica consiste na formação de sítios oxidantes e redutores na superfície do semicondutor, mediados pela luz. Estes sítios são capazes de catalisar reações químicas.

FAN *et al apud* ALMEIDA, ASSALIN e ROSA (2004) utilizaram nanopartículas de TiO_2 para a fotodegradação do metilorange. O processo foi eficiente na descoloração e degradação do composto, gerando CO_2 e H_2O_2. Estudos realizados por SALES *et al* (2003), através da fotocatálise heterogênea de um corante dispersivo empregando TiO_2 como semicondutor, mostram uma rápida redução da coloração e da matéria orgânica em pouco tempo de tratamento sem deixar resíduo.

Os processos de oxidação química podem destruir a cor de corantes e oxidar outras substâncias. Cloro e hipoclorito de sódio são eficientes na remoção de cor, porém podem favorecer a formação de compostos organoclorados. Tratamentos com ozônio resultam numa leve redução da Demanda Química de Oxigênio (DQO) ou Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e a remoção da cor pode ser completa (LEÃO *et al*, 2002).

ORHON *apud* ALMEIDA, ASSALIN e ROSA (2004) avaliaram o uso do ozônio como pré e pós-tratamento biológico (lodos ativados) para efluentes têxteis. Constataram remoção de 85% de cor e 19% de remoção de DQO com o pré-tratamento. Já o pós-tratamento foi mais eficiente na quebra de compostos refratários conseguindo uma completa remoção de cor do efluente.

Segundo ALMEIDA, ASSALIN e ROSA (2004) o ozônio é capaz de reagir com uma numerosa classe de compostos orgânicos devido ao seu elevado potencial de oxidação. Avanços nos sistemas de geração de ozônio têm diminuído a energia requerida para a sua produção. Isso vem tornando viável a utilização deste processo devido a redução nos custos envolvidos para sua aplicação. A redução da cor é bastante eficiente, possibilitando o reuso da água na planta de tratamento e o sistema não gera resíduo sólido, como no caso de lodos ativados. Além da redução de cor, estudos desenvolvidos por SEVIMLI e KINACI *apud* ALMEIDA, ASSALIN e ROSA (2004), mostram a redução de DQO e aumento na

biodegradabilidade do efluente, após o tratamento com ozônio, sendo mais eficiente em meio alcalino.

A adição de um oxidante forte como o ozônio, no efluente têxtil, altera a natureza ou a quantidade de cargas na superfície das partículas, facilitando a coagulação/floculação. Dependendo do pH pode ocorrer a precipitação de íons metálicos. O aumento de grupos carboxílicos ou fenólicos decorrentes da ozonização auxilia a adsorção de compostos orgânicos e hidróxidos metálicos pelos flocos, melhorando a coagulação/floculação.

A coagulação química é efetiva na remoção de DQO, DBO e cor, usando como coagulantes a cal, sulfato de alumínio, sulfato ferroso e sulfato férrico (LEÃO *et al*, 2002).

Estudos desenvolvidos por HASSEMER e SENS (2002) mostram que é necessária uma alta quantidade de coagulante (sulfato de alumínio) e alcalinizante (cal hidratada) para o bom desempenho da floculação. A utilização de um polímero não-iônico como auxiliar de coagulação fez com que a dosagem de cal caísse pela metade. O melhor tratamento foi a coagulação/floculação sem utilização do polímero e sem a pré-ozonização, com uma eficiência de 98% para a remoção de cor e 97% para a diminuição da turbidez.

Através de métodos físicos, como a precipitação/floculação/flotação e nanofiltração, o corante pode ser retirado do meio líquido e transferido para o lodo, sendo possível a recuperação do corante (LEÃO *et al*, 2002).

Resinas trocadoras de íons, osmose reversa e extração por solvente têm sido empregados, com eficiência de remoção superiores a 90%, porém são processos caros e complexos (LEÃO *et al,* 2002).

2.4. O Processo de Adsorção

A adsorção é um processo que consiste na concentração de uma substância química na interface de duas fases. A interface pode ser entre um sólido e um líquido; um sólido e um gás; um líquido e um líquido; ou entre um gás e um líquido (CROCKFORD, 1977).

A substância em cuja superfície ocorre a adsorção é o adsorvente; a que é adsorvida é o adsorvato.

O adsorvente mais utilizado para remover substâncias em solução é o carvão. Em processos industriais é utilizado para remover material corante indesejável.

A adsorção em soluções é um processo seletivo e determinado pela capacidade do soluto em alterar a tensão superficial do solvente. As substâncias corantes possuem moléculas

mais complexas que as do solvente, sendo desta forma mais facilmente adsorvidas por abaixarem mais fortemente a tensão superficial do solvente (CROCKFORD, 1977).

A adsorção é um dos processos físicos mais eficientes na remoção da cor de efluentes têxteis. Não há problemas de formação de intermediários, dependendo somente de fatores físicos como interação adsorvente/corante, área superficial do adsorvente, tamanho da partícula, temperatura, tempo de contato e pH (BANAT *et al apud* FERREIRA, 2001). A intensidade de adsorção depende também da natureza do adsorvato e da concentração do corante (CASTELLAN, 1986).

Moléculas e átomos podem se ligar de duas formas a uma superfície sólida. Na adsorção física (fisissorção) ocorre interação da Van de Waals entre o adsorvato e o adsorvente. As moléculas encontram-se fracamente ligadas à superfície e os calores de adsorção são baixos. Esta pequena variação de entalpia não é suficiente para romper ligações químicas, o que garante a integridade da molécula (ATKINS, 2004).

Na adsorção química (quimissorção) as moléculas adsorvidas reagem com a superfície e tendem a se acomodar em sítios ativos. Uma molécula quimicamente adsorvida pode ser decomposta em virtude de forças de valência dos átomos da superfície e a existência de fragmentos adsorvidos é responsável pelo efeito catalítico das superfícies sólidas (ATKINS, 2004).

Na adsorção física o equilíbrio é atingido rapidamente, já que não há participação de energia de ativação e o processo é facilmente reversível. Na adsorção química somente são possíveis camadas monomoleculares adsorvidas. É um processo específico que pode exigir uma energia de ativação, sendo relativamente lento e pouco reversível (SHAW, 1975).

2.5. Tratamento de Efluentes por Adsorção

A baixa biodegradabilidade de produtos presentes no efluente têxtil tem sido responsável pelo insucesso do tratamento biológico. As unidades de tratamento biológico convencionais reduzem a DBO e a cor pode ser reduzida pela adição de substâncias adsorventes nos tanques de aeração do processo de lodos ativados, tais como carvão ativado, sílica gel, terra fuller, alumina, argila, madeira e polímeros sintéticos. Com carvão ativado, pode haver uma remoção de 20 a 25% da cor, remoção de DBO e DQO e redução de espuma (LEÃO *et al*, 2002).

Estudos realizados por ALMEIDA, PEDRO e CORSO (2004) mostram que a turfa nativa pode ser uma vantajosa opção no tratamento de efluentes têxteis. Este estudo revelou que a capacidade adsorvente da turfa aumenta com o aumento da concentração hidrogeniônica da solução de corante.

Alguns resíduos industriais constituídos por compostos de ferro têm sido estudados como adsorventes não convencionais, com a vantagem de fixar compostos tóxicos de soluções através de adsorventes de baixo custo.

ORTIZ *et al* (2003) estudaram a capacidade de adsorção da magnetita (Fe_3O_4), um resíduo siderúrgico. Os resultados mostram que a magnetita pode apresentar graus de desagregação e solubilização em soluções com pH < 3. Este efeito é indesejável porque reduz a porcentagem de remoção do composto tóxico e pode aumentar a contaminação por produtos de dissolução e desagregação da magnetita. Empregando soluções de hidróxido de sódio, sulfato de ferro e metasilicato de sódio na estabilização de frações de magnetita favorecem a formação de óxidos e silicatos de menor solubilidade com a manutenção das propriedades adsortivas.

Segundo SOARES (1998) vários materiais têm sido sugeridos como adsorventes. A madeira é eficiente na adsorção de corantes ácidos, tem baixo custo quando comparada aos adsorventes comerciais, porém exige grande tempo de contato até atingir o equilíbrio. Derivados de celulose têm sido usados com sucesso na remoção de corantes diretos. Porém, derivados de madeira e celulose podem aumentar a DQO do efluente por hidrólise ou solubilização da celulose.

Misturas de cinzas e carvão na proporção 1:1 se mostram eficiente na remoção de corantes catiônicos e pode ser usada em substituição ao carvão ativado.

Sílica gel garante boa remoção de corantes básicos, porém reações paralelas de oxidação representam um problema na sua utilização.

NEUMANN *et al* (2000) estudaram a adsorção de corantes catiônicos em suspensão de argila e verificaram que as moléculas se agregam na superfície externa das partículas e ocorrem rearranjos das moléculas de corantes, que ocupam espaços interlamelares. Estes processos dependem da natureza do corante e da argila e o processo de agregação pode ser acelerado pela adição de eletrólitos (NaCl). Na adição de sais orgânicos (surfactantes) pode ocorrer adsorção competitiva entre moléculas de corantes e os cátions destes sais.

DALLAGO, SMANIOTTO E OLIVEIRA (2005) estudaram o couro residual "wet blue" como adsorvente de corantes têxteis em solução aquosa. Em ensaios realizados com alguns corantes, observaram que o couro curtido "wet blue" apresentou maior capacidade de

adsorção quando comparado ao couro natural. O couro "wet blue" difere do couro natural somente pela presença de cromo. Sua função é atuar como ponte, interligando grupos protéicos do couro proporcionando maior estabilidade química ao produto final. A presença do cromo, com seu caráter positivo, facilita as interações com corantes aniônicos, aumentando a capacidade de adsorção. Ensaios comparativos revelaram que o couro "wet blue" apresenta capacidade de adsorção similar ao carvão ativado, normalmente utilizado como adsorvente no tratamento de efluentes têxteis.

2.6. Carvão Ativado

Carvão ativado é o nome comercial de um grupo de carvão que se caracteriza por ter uma estrutura porosa e uma superfície interna elevada. Seu uso principal é na eliminação de impurezas gasosas e líquidas mediante adsorção.

A remoção de contaminantes pelo carvão ativado é um processo de adsorção física sendo por esta razão reversível se energia suficiente é aplicada. A característica que faz do carvão ativado um excelente adsorvente é sua enorme área superficial, de cerca de 1400 metros quadrados por grama (BAIRD, 2002).

O carvão ativado se caracteriza por ter uma estrutura porosa ramificada, onde os microporos (tamanho inferior a 2 nm), os mesoporos (com tamanho entre 2 e 50 nm) e os macroporos, estão conectados. A estrutura e composição do carvão ativado definem tanto suas propriedades adsorventes como suas propriedades químicas (REINOSO E SABIO, 2004).

Segundo SMISEK *apud* ARAÚJO (2003) "a distribuição de tamanho dos poros depende do tipo de material e do método de fabricação do carvão ativado. Os macroporos servem como condutos de transporte do adsorvato desde a superfície externa da partícula até as superfícies internas dos mesoporos e microporos onde a maior parte da adsorção ocorre".

Os processos de fabricação de carvão ativado baseiam-se na remoção de hidrogênio e demais voláteis ricos em H_2 da matéria carbonosa, gerando um material de alta porosidade interna e, portanto, de elevada superfície específica. Segundo BANSAL *apud* ARAÚJO (2003), a modificação da superfície do carvão é relativamente simples. Uma forma de modificação é obtida através da oxidação controlada de sua superfície onde grupos superficiais ácidos são introduzidos, tornando o carvão mais hidrofílico.

Um carvão com ampla distribuição de microporos é adequado para o tratamento de água, onde vai adsorver substâncias com diferentes dimensões moleculares. Os mesoporos e

macroporos têm a função de facilitar o acesso das moléculas desde o exterior da partícula aos microporos. Como sua estrutura é desordenada e o tamanho dos microcristais muito pequenos, a quantidade de heteroátomos que se pode incorporar ao carbono pode ser elevada, modificando suas propriedades adsorventes.

Em geral, os contaminantes são moléculas orgânicas apolares que se unem fortemente na superfície do carvão por forças de dispersão, já que o carbono é de natureza apolar.

Uma vez que uma amostra de carvão ativado esteja próxima de seu ponto de saturação em termos de produtos orgânicos adsorvidos, são três as alternativas disponíveis. Ele pode ser simplesmente disposto em um aterro sanitário, pode ser incinerado para ser destruído junto com os contaminantes adsorvidos, ou pode ser aquecido para regenerar a superfície expelindo os poluentes orgânicos, que podem então ser incinerados ou oxidados por via catalítica (BAIRD, 2002).

2.7. Rejeito da Fabricação de Alumina

Nos minerais de bauxita, o alumínio é o elemento principal, embora possa apresentar outros elementos em suas redes cristalinas. É fonte primária para o processo de obtenção do alumínio, cujo isolamento iniciou em 1827, mas a produção deste metal com elevado grau de pureza foi desenvolvida no começo do século XX (SANTOS, 1997).

O principal método de obtenção de alumina é o processo Bayer. A Figura 2.2 mostra o fluxograma deste processo.

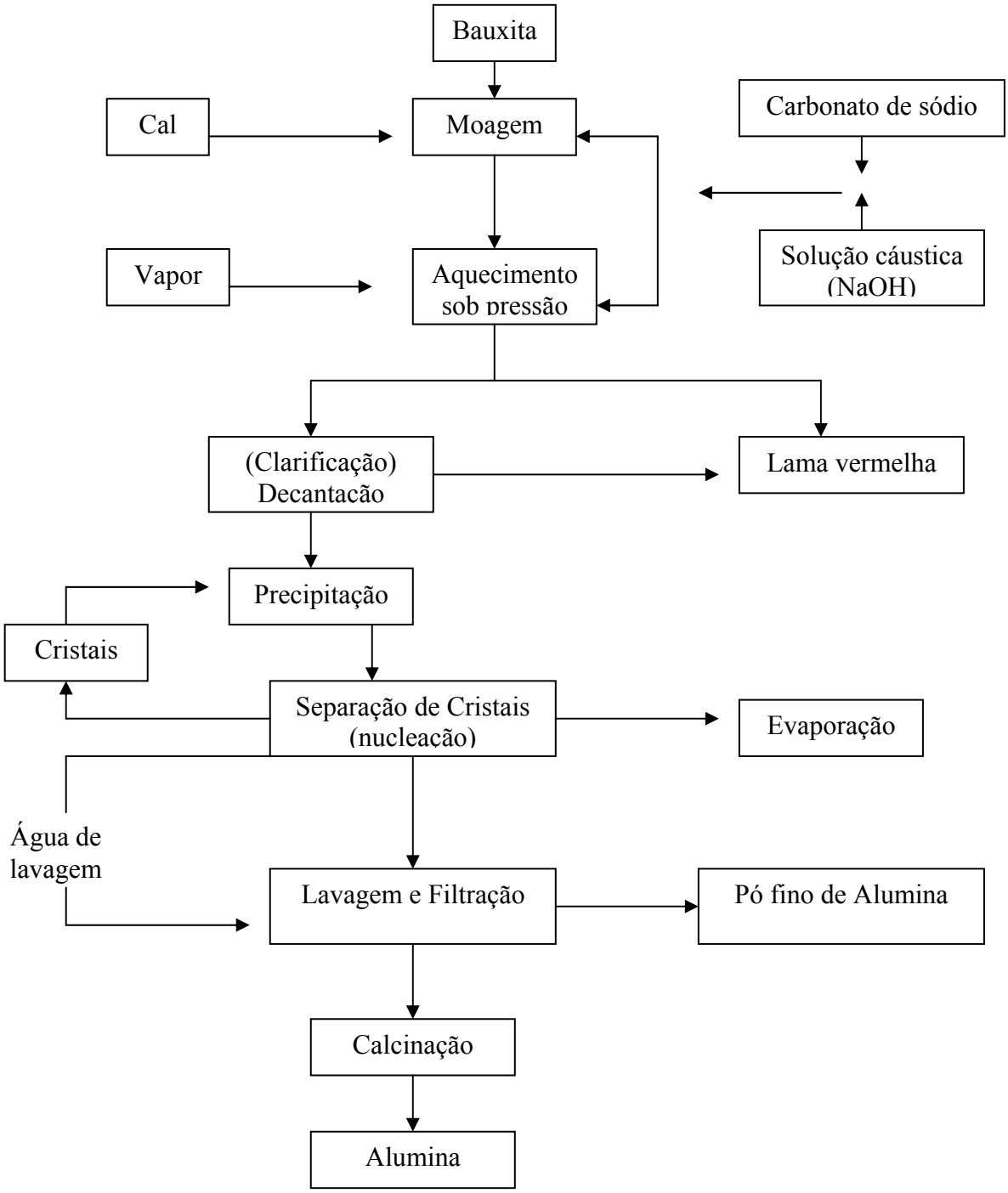


Figura 2.2: Processo Bayer de obtenção da alumina (Fonte: SANTOS, 1997).

Uma das etapas do processo industrial de extração de alumínio é a obtenção de alumina (Al_2O_3). Nesta etapa, um dos rejeitos obtidos é um pó fino, proveniente de filtros eletrostáticos, que é descartado junto à lama vermelha em barragens e aterros industriais. A

composição da lama vermelha depende da composição mineralógica da bauxita e o tratamento químico aplicado durante o processo de extração do alumínio (SANTOS, 1997).

O pó obtido do processo industrial é composto basicamente de alumina e uma pequena porcentagem de resíduos orgânicos. Apresenta uma coloração escura devido ao carbono vegetal presente. O resíduo não satisfaz as especificações industriais além de ser descartado nos pátios das indústrias possibilitando a contaminação do solo. A quantidade produzida deste rejeito é de cerca de 1 a 2% da produção total de alumina (GONÇALVES, 2003).

A alumina é, depois da sílica, o adsorvente mais utilizado em cromatografia. Pelo fato de poder ser preparada com características ácida, neutra ou alcalina, é muito útil na separação de substâncias que apresentam variações destas características. Tem também a propriedade de catalisar diversas reações orgânicas (COLLINS, BRAGA e BONATO, 1997).

2.8. Cinética de Adsorção

De acordo com SOARES (1998), a adsorção de corantes sobre adsorventes porosos pode envolver as seguintes etapas: difusão das moléculas de corante da solução para a superfície externa dos adsorventes (camada limite), adsorção das moléculas do corante na superfície externa da partícula através de interações moleculares, difusão das moléculas do corante da superfície externa para o interior da partícula (difusão efetiva) e adsorção no interior da partícula.

2.8.1. Isoterma de Langmuir

A isoterma de Langmuir aplica-se à adsorção em superfícies completamente homogêneas e, os reagentes que estejam adsorvidos podem, ou não, competir entre si pelos sítios ativos do adsorvente. É válida para a adsorção em monocamada numa superfície que contém um número finito de sítios idênticos de adsorção.

A isoterma de Langmuir pode ser descrita como a equação linear:

$$\frac{Ceq}{Qe} = \frac{1}{Qo.b} + \frac{Ceq}{Qo} \quad (1)$$

Onde:

Ceq: concentração do adsorvato no equilíbrio (mg L^{-1})

Qe: quantidade de material adsorvido por unidade de massa de adsorvente (mg g^{-1})

Qo: constante de Langmuir relativa à capacidade de adsorção (mg g^{-1})

b: constante de Langmuir relativa à constante de equilíbrio ou energia de adsorção (L mg^{-1})

2.8.2. Isoterma de Freundlich

A isoterma de Freundlich ajusta-se bem para uma série de sistemas de solutos sólidos em solventes líquidos, e mesmo soluções gasosas sobre sólidos, nos quais a adsorção química está presente em amplas faixas de temperatura.

Esta isoterma considera a adsorção em multicamadas e é útil para descrever a adsorção em superfícies heterogêneas. Em muitos casos, fornece uma representação de equilíbrio melhor do que a isoterma de Langmuir, porém, sua aplicabilidade é restrita a um intervalo de concentração limitado. O parâmetro n, no intervalo de 1 a 10, representa condições de adsorção favorável.

A isoterma de Freundlich pode ser escrita através da equação:

$$\ln Qe = \ln K + \frac{1}{n} \ln Ceq \quad (2)$$

Onde:

Ceq: concentração do adsorvato no equilíbrio (mg L^{-1})

Qe: quantidade de material adsorvido por unidade de massa de adsorvente (mg g^{-1})

K: constante de Freundlich relativa à capacidade de adsorção

1/n : constante de Freundlich relativa à intensidade de adsorção

3. Metodologia

Neste capítulo serão relatadas as metodologias utilizadas para a caracterização dos adsorventes (carvão ativado e um dos rejeitos da fabricação de alumina – pó retido no filtro eletrostático) e dos corantes selecionados para este estudo. Serão mostrados, também, os procedimentos adotados nos testes de adsorção com corantes puros, as análises físico-químicas realizadas com os efluentes industriais e a proposta de tratamento do efluente por adsorção, sugerida neste trabalho.

3.1. Caracterização dos Adsorventes

3.1.1. Caracterização do Rejeito da Fabricação da Alumina

O rejeito da fabricação da alumina – pó retido no filtro eletrostático – foi caracterizado através de medidas de área superficial específica, análise granulométrica, alcalinidade, acidez e pH.

As medidas de área superficial específica foram baseadas no princípio Brunauer-Emmett-Teller (BET), cuja técnica de análise é especificada no trabalho de MIRANDA (2005). A análise foi realizada na Escola de Minas – Núcleo de Valorização de Materiais Minerais – UFOP.

Para a análise granulométrica, foi montado um conjunto de peneiras, de 60 a 500 Mesh, ou seja, de 0,250 a 0,0298 mm, previamente pesadas. Uma massa de 10g do rejeito foi colocada na peneira superior e o sistema levado para um vibrador. Depois disso, as peneiras foram novamente pesadas e determinada a porcentagem de massa de rejeito retida nestas peneiras.

Para se determinar a alcalinidade, foram utilizados erlenmeyers de 250 mL contendo 2,0 g do rejeito e 25,0 mL de HCl 0,05 mol L^{-1}. Os frascos foram agitados em uma mesa agitadora da marca NOVA ÉTICA, modelo 109, por 2 horas. O sobrenadante foi titulado com NaOH 0,05 mol L^{-1}.

A acidez foi determinada utilizando-se erlenmeyers de 250 mL contendo 2,0 g do rejeito e 25,0 mL de NaOH 0,05 mol L^{-1}. Os frascos foram agitados em uma mesa agitadora da marca NOVA ÉTICA, modelo 109, por 2 horas. O sobrenadante foi titulado com HCl 0,05 mol L^{-1}.

Para a determinação do pH do rejeito, foi feita a leitura do pH da água destilada e aferido para 7,0. Em um erlenmeyer de 250 mL foram colocados 10,0 g do rejeito e adicionaram-se 25,0 mL de água destilada com pH igual a 7,0. O sistema foi agitado por 1 minuto e deixado em repouso por 60 minutos. Fez-se a leitura do pH em um pHmetro da marca ANALION modelo PM 608.

3.1.2. Caracterização do Carvão Ativado

A caracterização do carvão ativado foi realizada pelo grupo de pesquisa coordenado pelos professores Cornélio de Freitas Carvalho (UFOP) e Maria Irene Yoshida (UFMG), em trabalhos anteriores.

As análises por espectroscopia no infravermelho foram feitas utilizando-se pastilhas de KBr, em um aparelho Perkin Elmer Spectrum GTX - FTIR. Os espectros foram obtidos por varredura na região de 4000 a 400 cm^{-1}.

As medidas de área superficial específica foram baseadas no princípio Brunauer-Emmett-Teller (BET) e as análises de tamanho de poros e volume total de poros foram obtidas pelo método Barret, Joyner e Halenda (BJH), cujos princípios são especificados no trabalho de MIRANDA (2005). Utilizou-se cerca de 100 mg de amostra degaseificada a 300ºC por 2-3 horas. O aparelho utilizado foi um sortômetro da marca Quantachrome Instrument, modelo AUTOSORB1.

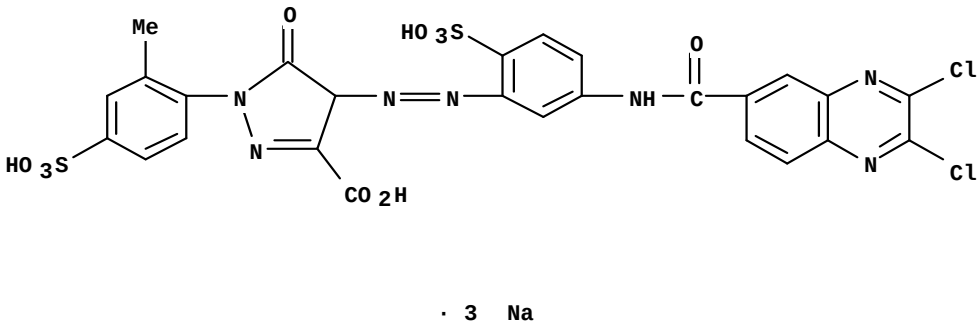
3.2. Caracterização dos Corantes Têxteis

Neste estudo, foram utilizados os corantes Amarelo de Drimarem, Amarelo Remazol, Amarelo Dianix, Azul de Drimarem, Azul Dianix, Azul Procion e Vermelho Dianix, usados rotineiramente em indústrias têxteis.

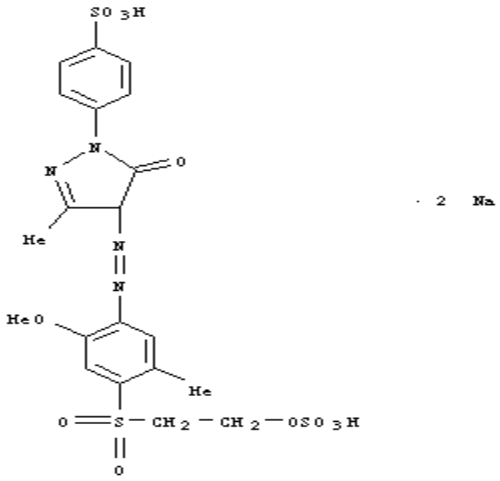
3.2.1. Principais características dos corantes estudados

Os quadros a seguir mostram as principais características dos corantes estudados. Estas informações foram obtidas no Chemical Abstracts.

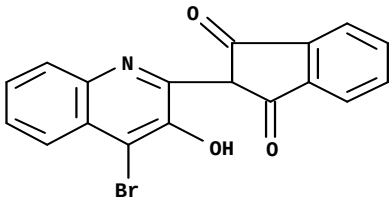
Quadro 3.1: Dados relativos ao corante Amarelo de Drimarem (BECHTOLD; MADER e MADER, 2002).

Fórmula Estrutural	
Fórmula Molecular	$C_{26}\ H_{17}\ Cl_2\ N_7\ O_{10}\ S_2\ .\ 3\ Na$
Nome (CA Index Name)	1H-Pyrazole-3-carboxylic acid, 4-[[5-[[(2,3-dichloro-6-quinoxalinyl)carbonyl]amino]-2-sulfophenyl]azo]-4,5-dihydro-1-(2-methyl-4-sulfophenyl)-5-oxo-, trisodium salt (9CI)
Registro	72139-14-1

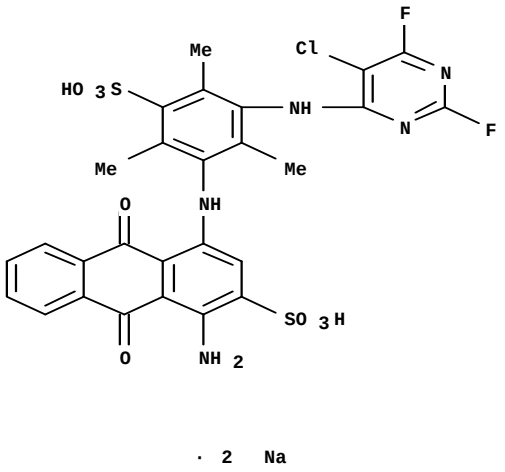
Quadro 3.2: Dados relativos ao corante Amarelo Remazol (MACEDO *et al*, 2006).

Fórmula Estrutural	
Fórmula Molecular	$C_{20}\ H_{22}\ N_4\ O_{11}\ S_3\ .\ 2\ Na$
Nome (CA Index Name)	Benzenesulfonic acid, 4-[4,5-dihydro-4-[[2-methoxy-5-methyl-4-[[2-(sulfooxy)ethyl]sulfonyl]phenyl]azo]-3-methyl-5-oxo-1H-pyrazol-1-yl]-, disodium salt (9CI)
Registro	25664-81-7

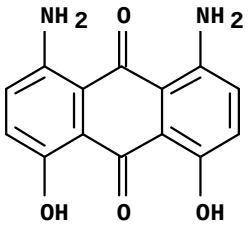
Quadro 3.3: Dados relativos ao corante Amarelo Dianix (RUAN e SONG, 2007).

Fórmula Estrutural	
Fórmula Molecular	$C_{18}\ H_{10}\ Br\ N\ O_3$
Nome (CA Index Name)	1H-Indene-1,3(2H)-dione, 2-(4-bromo-3-hydroxy-2-quinolinyl)-
Registro	10319-14-9

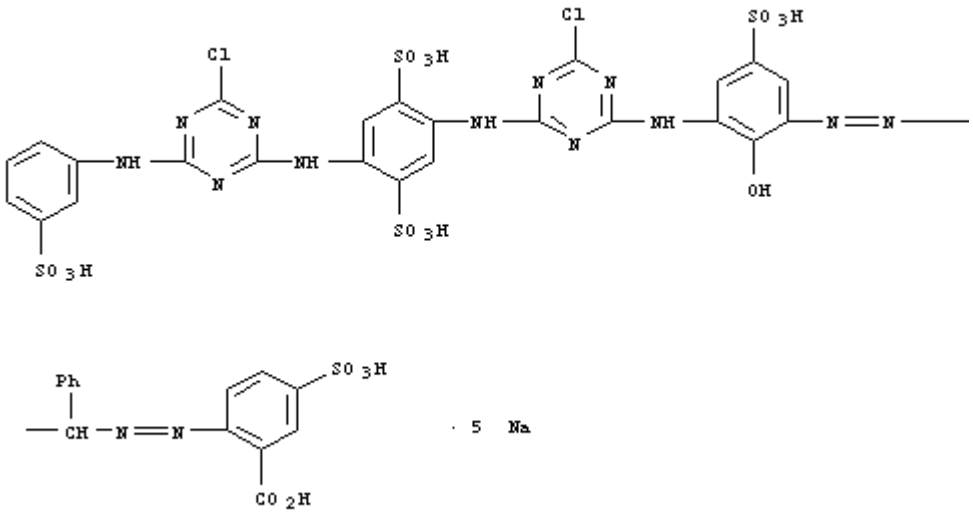
Quadro 3.4: Dados relativos ao corante Azul de Drimarem (GRUENWALD; BURTSCHER e BOBLETER, 1992).

Fórmula Estrutural	
Fórmula Molecular	$C_{27}\ H_{20}\ Cl\ F_2\ N_5\ O_8\ S_2\ .\ 2\ Na$
Nome (CA Index Name)	2-Anthracenesulfonic acid, 1-amino-4-[[3-[(5-chloro-2,6-difluoro-4-pyrimidinyl)amino]-2,4,6-trimethyl-5-sulfophenyl]amino]-9,10-dihydro-9,10-dioxo-, disodium salt (9CI)
Registro	72528-70-2

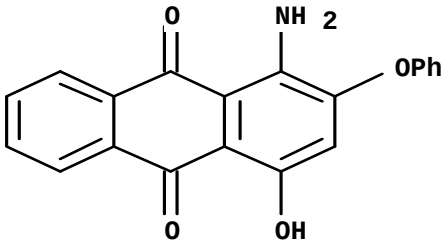
Quadro 3.5: Dados relativos ao corante Azul Dianix (CHOU; MATSUI e MATSUDA, 2006).

Fórmula Estrutural	
Fórmula Molecular	$C_{14}\ H_9\ Br\ N_2\ O_4$
Nome (CA Index Name)	9,10-Anthracenedione, 1,8-diaminobromo-4,5-dihydroxy-
Registro	12222-79-6

Quadro 3.6: Dados relativos ao corante Azul Procion (OUYANG *et al*, 2007).

Fórmula Estrutural	
Fórmula Molecular	$C_{38}\,H_{28}\,Cl_2\,N_{14}\,O_{18}\,S_5$. 5 Na
Nome (CA Index Name)	Benzoic acid, 2-[[[[3-[[4-chloro-6-[[4-[[4-chloro-6-[(3-sulfophenyl)amino]-1,3,5-triazin-2-yl]amino]-2,5-disulfophenyl]amino]-1,3,5-triazin-2-yl]amino]-2-hydroxy-5-sulfophenyl]azo]phenylmethyl]azo]-5-sulfo-, pentasodium salt (9CI)
Registro	71872-76-9

Quadro 3.7: Dados relativos ao corante Vermelho Dianix (IRITA *et al*, 2007).

Fórmula Estrutural	
Fórmula Molecular	$C_{20}\,H_{13}\,NO_4$
Nome (CA Index Name)	1-Amino-4-hydroxy-2-phenoxyanthraquinone
Registro	17418-58-5

3.2.2. Espectros de Absorção

Para determinar o comprimento de onda de máxima absorção, foram preparadas soluções padrão de 100 mg L^{-1} destes corantes e diluídas a 10 mg L^{-1}, em pH aproximadamente igual a 7. As leituras de absorbância das soluções preparadas foram realizadas na região do visível de 300 a 700 nm, em um espectrofotômetro FEMTO 700.

3.2.3. Curvas Analíticas

Para se obter as curvas analíticas dos corantes, foram preparadas soluções padrão em diversas concentrações. Fez-se a leitura de absorbância destas soluções no comprimento de onda de máxima absorção. Traçou-se o gráfico absorbância versus concentração da solução de corante. Segundo a Lei de Beer, uma relação linear entre as variáveis é estabelecida na faixa ótima de trabalho.

3.2.4. Análise Térmica

A estabilidade dos corantes em função da temperatura foi verificada através da Termogravimetria (TG) e da Calorimetria de Varredura Diferencial (DSC).

A curva TG foi obtida no equipamento de análise térmica SDT 2960 Simultaneous DTA-TGA, da TA INSTRUMENTS. A razão de aquecimento foi de 10°C/min até 600°C. As curvas DSC dos corantes foram obtidas no equipamento de análise térmica DSC 2010, da TA INSTRUMENTS. A razão de aquecimento foi de 10°C/min até 500°C. Nas duas análises usou-se como gás de purga o ar sintético.

3.3. Testes de Adsorção com Corantes Puros

3.3.1. Testes para Estabelecer o Tempo de Equilíbrio e a Massa de Adsorvente

Pesou-se, em uma balança analítica da marca METTLER-TOLEDO modelo AB 204, uma amostra específica de corante puro. A amostra foi transferida para um balão volumétrico e o volume do balão foi aferido com água destilada e deionizada.

Foram retiradas alíquotas de 50 mL das soluções preparadas e transferidas para uma série de erlenmeyers de 250 mL. Aos erlenmeyers foram acrescentadas amostras de 0,25, 0,50 e 1,00 grama dos adsorventes.

Os frascos foram colocados em uma mesa agitadora da marca NOVA ÉTICA, modelo 109. As soluções foram agitadas em diferentes tempos, variando de 15 minutos a 6 horas de agitação, até que fosse estabelecido o tempo de equilíbrio de cada corante.

Após a agitação, as soluções foram transferidas para uma centrífuga da marca FANEM, modelo EXCELSA BABY II 206 - R, e centrifugadas por 5 minutos a 6000 rpm. A seguir, uma alíquota foi retirada e efetuada a leitura de absorbância, em um espectrofotômetro FEMTO 700, no $\lambda_{máx}$ do corante.

Os testes foram realizados em triplicata com carvão ativado e um dos rejeitos da fabricação de alumina – pó retido no filtro eletrostático.

3.3.2. Testes de Adsorção

Após estabelecer o tempo de equilíbrio e a massa de adsorvente para cada corante, foram realizados ensaios de adsorção em diferentes pH's.

Para isto, foram preparadas soluções padrão de corantes em diversas concentrações a partir da diluição de uma solução padrão mais concentrada. O pH das soluções foi ajustado, através de um pHmetro da marca ANALION modelo PM 608, para 4, 7 e 10 pela adição de HCl ou NaOH 0,1 mol L^{-1}.

Prosseguiram-se os ensaios conforme o item 3.3.1. com a massa de adsorvente e o tempo de agitação estabelecidos anteriormente.

3.3.3. Isotermas de Adsorção

Através das leituras de absorbâncias das soluções, obtidas no item 3.3.2, realizou-se o ajuste dos dados experimentais conforme os modelos de isotermas de Langmuir e Freundlich.

3.4. Análises das Amostras de Efluentes

A amostragem de efluente foi realizada na Companhia Itabirito Industrial (CII), indústria do setor têxtil, localizada na cidade de Itabirito – MG. Esta indústria foi fundada em 1926 e desenvolve o acabamento de tecidos de algodão, com uma produção mensal de 50.000 Kg de tecidos por mês. A empresa gera uma média de 15 m^3/h de efluente líquido, que passa por um processo de lodos ativados por aeração prolongada antes de ser descartado no Córrego Criminoso (LACERDA, 2004).

As amostras de efluente bruto e tratado coletadas foram transportadas em caixas de isopor com gelo até o laboratório, onde ficaram refrigeradas até a realização das análises. As amostras foram conservadas e analisadas segundo os métodos estabelecidos pelo Standard Methods (APHA, 1998).

Medidas de pH, temperatura, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido (OD) foram realizadas no momento da coleta, através de equipamentos de campo devidamente calibrados.

Para medidas de pH e temperatura foi utilizado um pHmetro portátil, modelo CG818, fabricado pela SCHOTT GERATE. A condutividade elétrica foi medida através de um condutivímetro, modelo CG859, fabricado pela SCHOTT GERATE. O oxigênio dissolvido foi analisado empregando um oxímetro, modelo MO-880, fabricado pela INSTRUTEMP.

No laboratório de análises de águas e efluentes do ICEB foram analisados os parâmetros: DQO (Demanda Química de Oxigênio), DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), sólidos em suspensão, dureza, cloretos, índice de fenóis, sulfeto e detergentes.

Os resultados obtidos nestas análises foram comparados à Deliberação Normativa 10/86 (COPAM, 1986) e 357/2005 (CONAMA, 2005), que estabelecem os valores máximos permitidos ao lançamento destes efluentes. Para o parâmetro DQO foi utilizada a Deliberação Normativa 47/2001 (COPAM, 2001).

3.5. Tratamento do Efluente

Foram realizados ensaios de adsorção, com amostras de efluente industrial bruto e tratado, usando carvão ativado e um dos rejeitos da fabricação da alumina – pó retido no filtro eletrostático como adsorventes.

Na primeira amostragem, alíquotas de 50 mL de efluente bruto e tratado foram transferidas para erlenmeyers de 250 mL. A estes frascos, foram acrescentados 3,0 g de

adsorventes. Os frascos foram colocados em uma mesa agitadora da marca NOVA ÉTICA, modelo 109 e agitadas por 6 horas, à temperatura ambiente. Após o tempo de agitação, as amostras foram transferidas para uma centrífuga da marca FANEM, modelo EXCELSA BABY II 206 - R, e centrifugadas por 5 minutos a 6000 rpm. Foram retiradas alíquotas para a realização de análises de DQO e varredura na região UV-Visível, a fim de se verificar a eficiência do processo de adsorção. Realizou-se a varredura em um espectrofotômetro UV-Visível FEMTO modelo 800 XI.

Na segunda amostragem, repetiu-se este procedimento. Porém, usou-se uma massa de 2,0 g de adsorventes e as amostras foram agitadas por 2 horas à temperatura ambiente. Outro teste foi realizado, na segunda amostragem, com 0,5, 2,0 e 3,0 g de adsorventes, com agitação de 6h à temperatura ambiente.

4. Resultados e Discussão

4.1. Caracterização dos Adsorventes

O pó retido no filtro eletrostático na fabricação da alumina tem como principal constituinte alumina, pequenas quantidades de carvão (3,18% em massa) e traços de óxido de ferro (YOSHIDA e CARVALHO, 2002). A análise granulométrica deste resíduo é apresentada na Tabela 4.1. Observa-se que é um material muito fino, onde a maior parte do material está com a granulometria entre 0,044 e 0,030 mm. Os resultados da análise BET do pó do filtro eletrostático são apresentados na Tabela 4.2.

Tabela 4.1: Análise granulométrica do rejeito da fabricação da alumina – pó retido no filtro eletrostático.

Granulometria (Mesh)	**Granulometria (mm)**	**% em massa retida**
60	0,250	0
100	0,149	0,228
200	0,074	2,780
250	0,063	2,001
325	0,044	64,89
400	0,037	17,14
500	0,030	11,82
fundo	<0,030	1,135

Tabela 4.2: Resultados da Análise BET para o rejeito da fabricação da alumina – pó retido no filtro eletrostático.

Adsorção de Nitrogênio Líquido (Técnica BET)	
Densidade (g cm^{-3})	2,946
Superfície Específica (m^2 g^{-1})	23.46
Tamanho Médio dos Microporos (nm)	4.985
Volume Total dos Poros (cm^3 g^{-1})	5,021 x 10^{-2}
Tamanho Máximo dos Poros (Å)	14,69 x 10^2
Diâmetro Médio (Å)	85,61
Volume dos Microporos (cm^3 g^{-1})	9,817 x 10^{-3}
Área dos Microporos (m^2 / g)	27.79

A acidez, a alcalinidade e o pH do rejeito da fabricação da alumina foram determinados. A Tabela 4.3 mostra os resultados destas análises.

Tabela 4.3: Valores de alcalinidade, acidez e pH do rejeito da fabricação da alumina – pó retido no filtro eletrostático.

Alcalinidade	0,1495 mmol de H^+ / grama de adsorvente
Acidez	0,1650 mmol de OH^- / grama de adsorvente
pH	8,24

A acidez foi determinada a partir da quantidade de OH^- não neutralizada pelos sítios ácidos do rejeito e a alcalinidade foi determinada a partir da quantidade de H^+ não neutralizada pelos sítios básicos do rejeito. Comparando os resultados apresentados na Tabela 4.3, observa-se que o rejeito neutraliza uma maior quantidade de ácido, apresentando, assim, um maior número de sítios básicos. Consequentemente, há uma diminuição de íons H^+ provenientes da água, elevando o pH.

A seguir serão relatados os resultados da caracterização do carvão ativado.

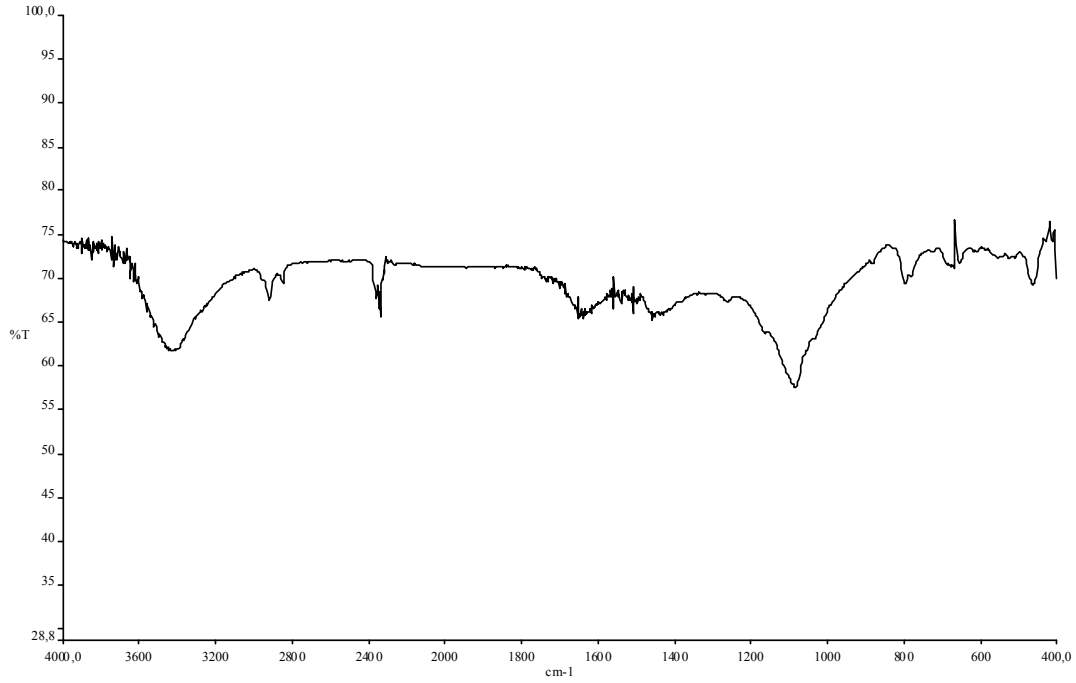


Figura 4.1: Espectro no infravermelho (IV) do carvão ativado.

No espectro IV do carvão ativado observa-se a presença de bandas referentes aos estiramentos C-H (2930-2850 cm^{-1}), C=C (~1651-1600 cm^{-1}) e deformação angular de C-H (~1258-1032 cm^{-1}). A banda que aparece em torno de 3400 cm^{-1} pode ser devido a grupos OH de hidroxilas ou pode ser devido a presença de água. Em 1150 cm^{-1} tem-se uma banda referente ao estiramento C-O de grupos hidroxilas, e em 1700 cm^{-1} estiramento C=O de carbonila de ácidos carboxílicos, presentes na estrutura do carvão (ARAÚJO, 2003).

A área superficial (BET) e o volume de poros, obtidos para o carvão utilizado nos testes de adsorção do efluente industrial, são, respectivamente, iguais a 576 (m^2 / g) e 0,01 **(**cm^3 / g). Observa-se que a área superficial deste carvão é cerca de 21 vezes maior do que a do rejeito da fabricação da alumina, e que o volume dos poros, de ambos os adsorventes, são da mesma ordem de grandeza. A granulometria do carvão ativado estava entre 5 e 25 Mesh, ou seja, entre 4,0 e 0,707 mm.

4.2. Caracterização dos Corantes Têxteis

4.2.1. Curvas Analíticas dos Corantes Estudados

Foram realizadas varreduras na região do visível de 300 a 700 nm. Os valores de comprimento de onda de máxima absorção dos corantes estudados foram descritos na Tabela 4.4.

Tabela 4.4: Comprimento de onda de máxima absorção ($\lambda_{máx}$) dos corantes estudados.

Corante	**$\lambda_{máx.}$ (nm)**
Amarelo de Drimarem	399
Amarelo Remazol	417
Amarelo Dianix	501
Azul de Drimarem	610
Azul Dianix	629
Azul Procion	620
Vermelho Dianix	518

Para a obtenção das curvas analíticas dos corantes estudados, foram realizadas leituras de absorbância das soluções, preparadas em pH aproximadamente igual a 7, no $\lambda_{máx}$ de cada corante. As concentrações das soluções utilizadas para cada corante e as respectivas absorbâncias são apresentadas no Anexo A. As curvas analíticas obtidas para todos os corantes estudados são apresentadas nas Figuras 4.2 e 4.3. Observa-se que, para todas as curvas analíticas descritas, uma relação linear entre as variáveis é estabelecida na faixa ótima de trabalho, em concordância com a Lei de Beer.

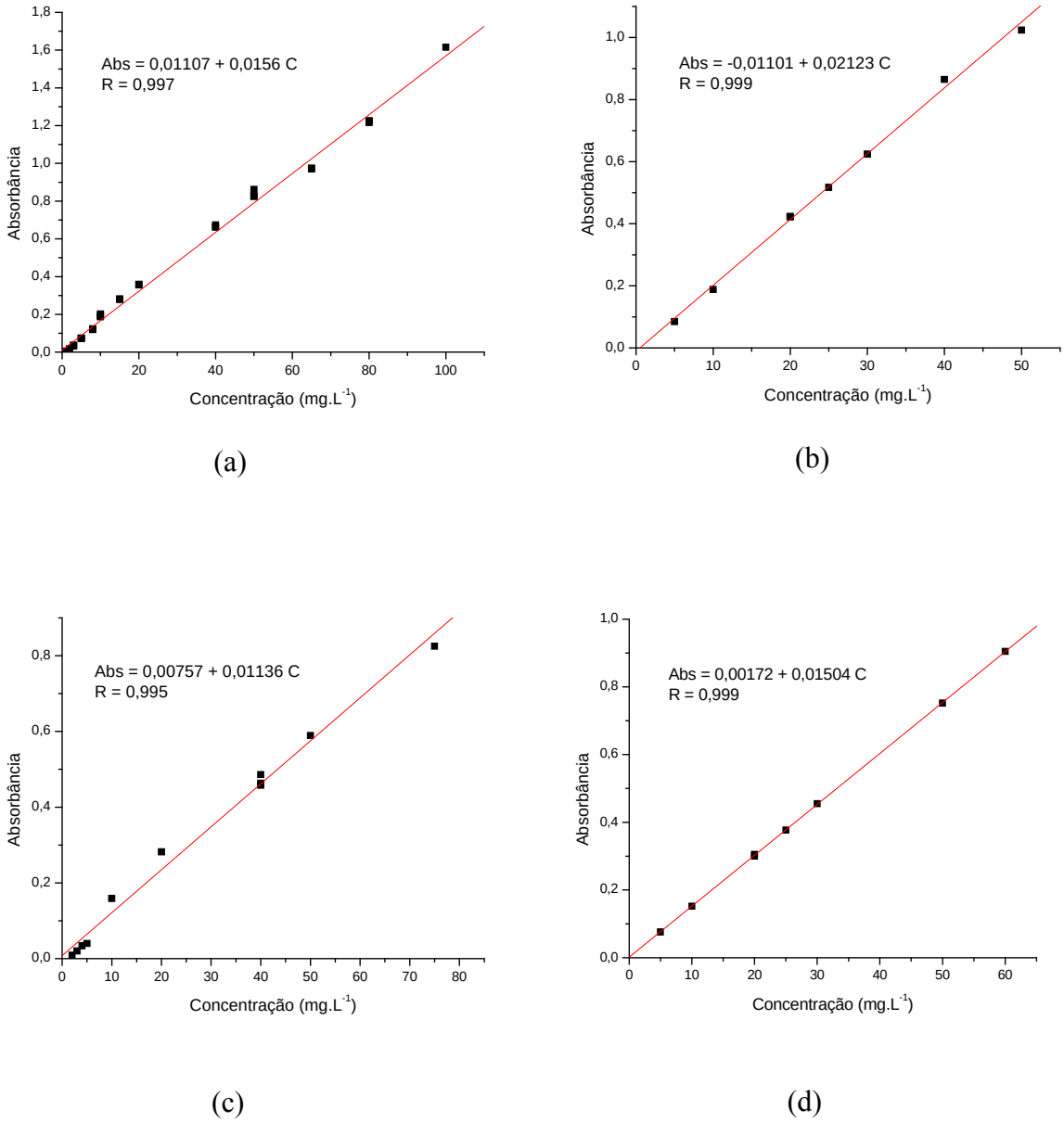
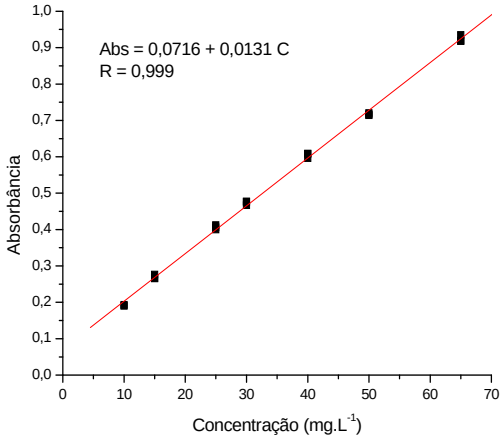
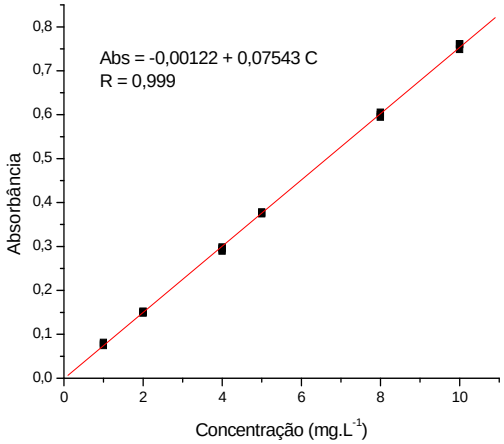


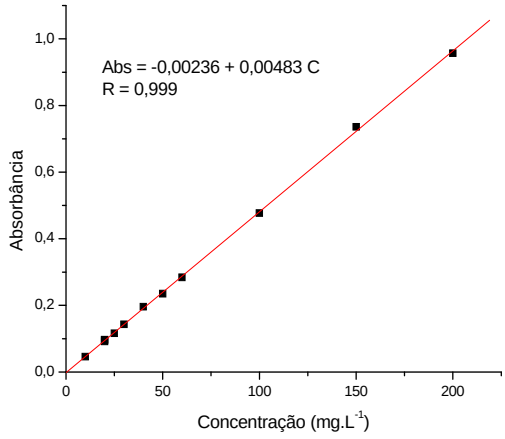
Figura 4.2: Curvas Analíticas dos Corantes: (a) Amarelo de Drimarem, em 399 nm; (b) Amarelo Dianix, em 501 nm; (c) Amarelo Remazol, em 417 nm e (d) Azul Dianix, em 629 nm.



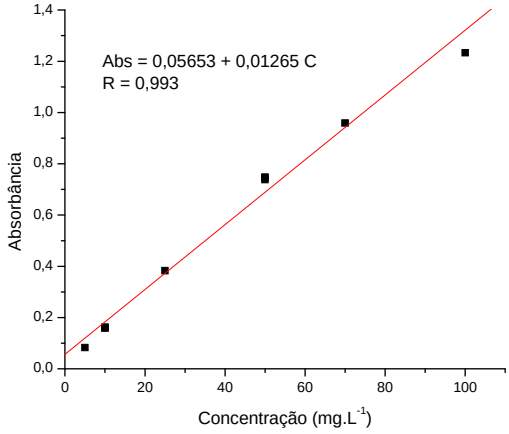
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 4.3: Curvas Analíticas dos Corantes: (a) e (b) Azul de Drimarem, em 610 nm; (c) Azul Procion, em 620 nm e (d) Vermelho Dianix, em 518 nm.

4.2.2. Análise Térmica

A Figura 4.4 mostra a curva TGA-DTA para um dos corantes estudados, o Azul Dianix.

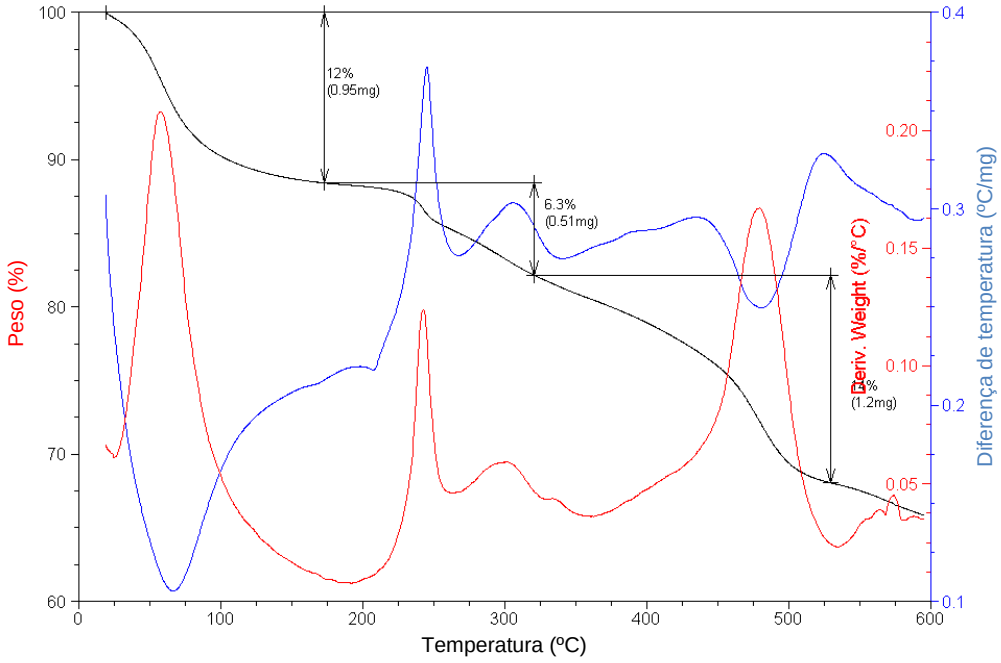


Figura 4.4: Curva TGA-DTA para o corante Azul Dianix.

De acordo com a Figura 4.4 observam-se três decaimentos, associados à perda de massa. O primeiro ocorre entre 25 e 175°C; o segundo ocorre entre 175 e 325°C e o terceiro ocorre entre 325 e 525°C. As perdas de massa são de 12%, 6,3% e 14% do composto, respectivamente. Estes decaimentos observados são relativos à decomposição térmica do corante.

A Figura 4.5 mostra os resultados da análise DSC para todos os corantes estudados.

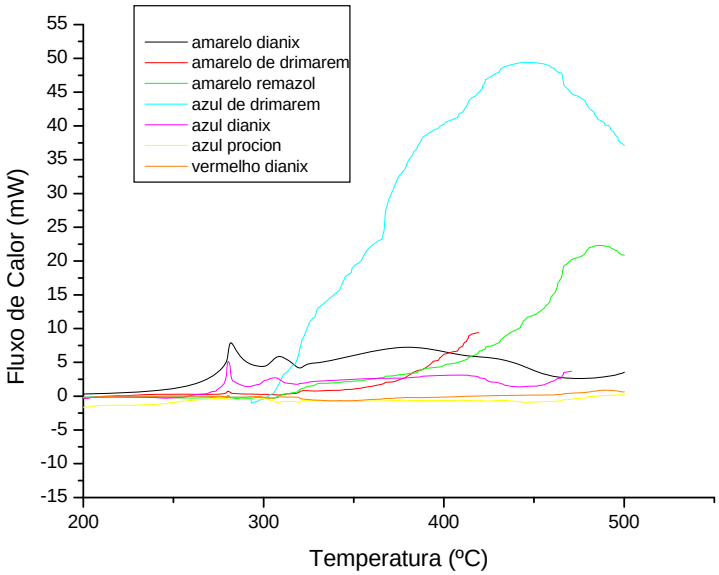


Figura 4.5: Curva DSC para os corantes caracterizados.

De acordo com a Figura 4.5 pode-se observar que todos os corantes estudados são estáveis até uma temperatura de aproximadamente 270°C. A partir desta temperatura os corantes começam a se decompor. O pico endotérmico observado entre 50 e 250°C, para o corante Azul Procion, pode ser devido à perda de água.

A curva DSC do corante Azul Dianix, apresentada na Figura 4.5, sugere que os decaimentos observados na Figura 4.4 podem não estar associados à decomposição do corante, já que a análise DSC é uma técnica com maior sensibilidade.

Observando a curva DTA apresentada na Figura 4.4, nota-se um pico em, aproximadamente, 250°C, que pode identificar o começo da decomposição do corante. Pela proximidade das temperaturas observadas na curva DTA e DSC para o corante Azul Dianix, pode-se confirmar a estabilidade destes corantes.

4.3. Testes de Adsorção com Corantes Puros

4.3.1. Testes para Estabelecer o Tempo de Equilíbrio e a Massa de Adsorvente

Foram realizados ensaios para estabelecer o tempo de equilíbrio para cada corante estudado. As amostras, contendo uma massa específica de adsorvente, foram agitadas em diferentes tempos, variando de 15 minutos a 6 horas de agitação. Foram testados também diferentes massas de carvão ativado e rejeito da fabricação de alumina, a fim de verificar a quantidade de adsorvente que forneceu maior porcentagem de remoção, para prosseguir os testes de adsorção dos corantes puros.

No Anexo B encontram-se os resultados destes ensaios. A maior porcentagem de remoção de corante ocorreu com 0,50 grama do rejeito. A Tabela 4.5 mostra a concentração média de cada corante analisado em função do tempo de agitação.

Tabela 4.5: Concentração média de corante em função do tempo de agitação, usando 0,50 grama do rejeito da fabricação de alumina.

Tempo (h)	**Concentração média de corante (mg L^{-1})**						
	Amarelo de Drimarem	Amarelo Dianix	Amarelo Remazol	Azul de Drimarem	Azul Dianix	Azul Procion	Vermelho Dianix
0,00	54,97	48,33	50,83	49,54	51,15	249,6	80,04
0,25	NR	31,51	NR	27,85	39,18	188,3	NR
0,50	6,520	29,12	4,240	25,69	38,96	180,9	1,910
1,00	4,680	27,89	2,500	24,61	38,32	169,8	0,480
2,00	4,490	28,20	2,530	24,07	38,91	134,9	1,350
3,00	4,400	29,09	2,470	24,68	39,07	NR	2,830

NR: não realizado.

- **Corante Amarelo de Drimarem**

Para o corante Amarelo de Drimarem, o equilíbrio é atingido em 1 hora de agitação, com uma porcentagem de remoção de corante em torno de 91%. Os ensaios realizados com carvão ativado revelam que este não é um bom adsorvente para este corante, já que a porcentagem de remoção não superou a 15%.

- **Corante Amarelo Dianix**

Com os ensaios realizados com o corante Amarelo Dianix não se conseguiu estabelecer o tempo de equilíbrio. Foram realizados alguns testes com soluções de corante puro, sem adsorvente, onde foi observado que, ao longo do tempo, houve depósito de corante no fundo do recipiente.

Os ensaios realizados com o corante Amarelo Dianix, usando carvão ativado como adsorvente, mostram o mesmo comportamento do corante em relação ao rejeito de fabricação da alumina. Logo, como não foi possível estabelecer o tempo de equilíbrio, optou-se por excluir este corante dos estudos posteriores.

- **Corante Amarelo Remazol**

Para o corante Amarelo Remazol, o equilíbrio é atingido em 1 hora de agitação, com uma porcentagem de remoção de corante em torno de 95%. Os ensaios realizados com carvão ativado revelam que este não é um bom adsorvente para este corante, já que a porcentagem de remoção não superou a 15%.

- **Corante Azul de Drimarem**

Para o corante Azul de Drimarem, o equilíbrio é atingido em 1 hora de agitação, com uma porcentagem de remoção de corante em torno de 50%. Os ensaios realizados com carvão ativado revelam que este não é um bom adsorvente para este corante, já que a porcentagem de remoção não superou a 15%.

- **Corante Azul Dianix**

Para o corante Azul Dianix, observa-se que o equilíbrio é atingido em 15 minutos de agitação, com uma porcentagem de remoção de corante em torno de 25%. Os ensaios realizados com carvão ativado revelam que este não é um bom adsorvente para este corante, já que a porcentagem de remoção ficou em torno de 20%.

- **Corante Azul Procion**

Para o corante Azul Procion, não foi possível estabelecer o tempo de equilíbrio. De acordo com os dados obtidos, o equilíbrio seria atingido em um tempo de agitação superior a 4 horas. Os ensaios realizados com carvão ativado revelam que este não é um bom adsorvente para este corante, já que a porcentagem de remoção ficou em torno de 5%. Não foi possível estabelecer o tempo de equilíbrio usando carvão ativado e o rejeito da fabricação de alumina. Logo, optou-se por excluir este corante das análises posteriores, assim como o corante Amarelo Dianix.

- **Corante Vermelho Dianix**

Para o corante Vermelho Dianix, o equilíbrio é atingido em 1 hora de agitação. Verifica-se uma porcentagem de remoção de corante em torno de 99%. Os ensaios realizados com carvão ativado revelam que este não é um bom adsorvente para este corante, já que a porcentagem de remoção ficou em torno de 30%. Esta porcentagem de remoção é baixa em comparação ao rejeito da fabricação de alumina (99%).

4.3.2. Estudo da Cinética de Adsorção em diferentes pH's

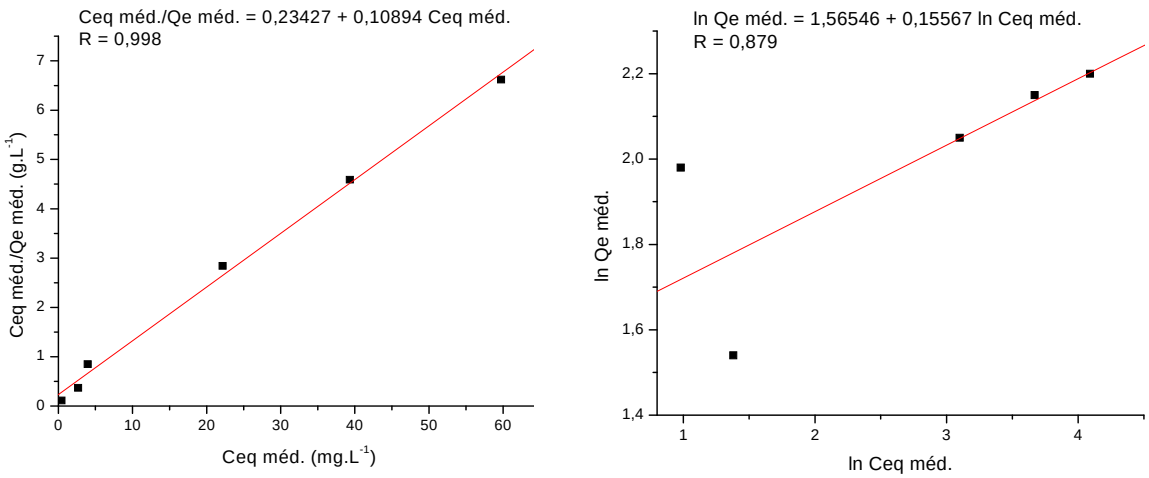
Após estabelecer o tempo de equilíbrio e a massa de adsorvente para cada corante, foram realizados ensaios de adsorção em diferentes pH's. De acordo com os resultados apresentados anteriormente, os testes de adsorção foram realizados usando o rejeito da fabricação de alumina, já que, os resultados com o carvão ativado não foram satisfatórios.

Foram construídas curvas analíticas, absorbância versus concentração da solução de corante (mg L^{-1}), em diferentes pH's, para estabelecer a faixa ótima de trabalho.

As soluções de corantes preparadas foram agitadas no tempo estabelecido anteriormente e a fração de corante não adsorvida foi detectada através da leitura de absorbância das soluções. Estes valores de absorbância foram comparados à curva analítica do corante para determinar sua concentração.

Os resultados encontrados foram ajustados segundo o modelo de isotermas de adsorção de Langmuir e Freundlich. Considerou-se um bom ajuste dos dados, o coeficiente de correlação linear (R) maior que 0,98.

♦ **Corante Amarelo de Drimarem em pH = 7**

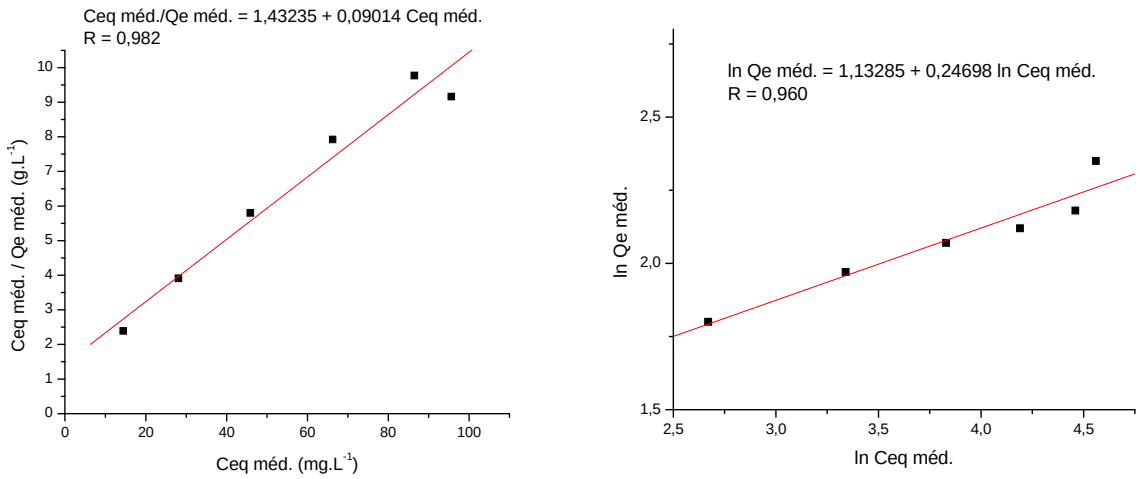


(a) (b)

Figura 4.6: Corante Amarelo de Drimarem: (a) Equação de Langmuir, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 7; (b) Equação de Freundlich, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 7.

Com os resultados obtidos (Anexo C) pôde-se observar que soluções do corante Amarelo de Drimarem em pH = 7, na faixa de concentração de 40 a 150 mg L^{-1}, revelam uma fração de corante não adsorvida na faixa de 0,3 a 60 mg L^{-1}. Estes valores encontram-se dentro da faixa de linearidade da curva. Observa-se, através da Figura 4.6 (a) e do coeficiente de correlação linear encontrado (R = 0,998), que o modelo de Langmuir se ajusta aos dados experimentais em pH = 7. Na Figura 4.6 (b), o coeficiente de correlação linear encontrado (R = 0,879) mostra que o modelo de Freundlich não se ajusta aos dados experimentais neste pH.

♦ **Corante Amarelo de Drimarem em pH = 4**

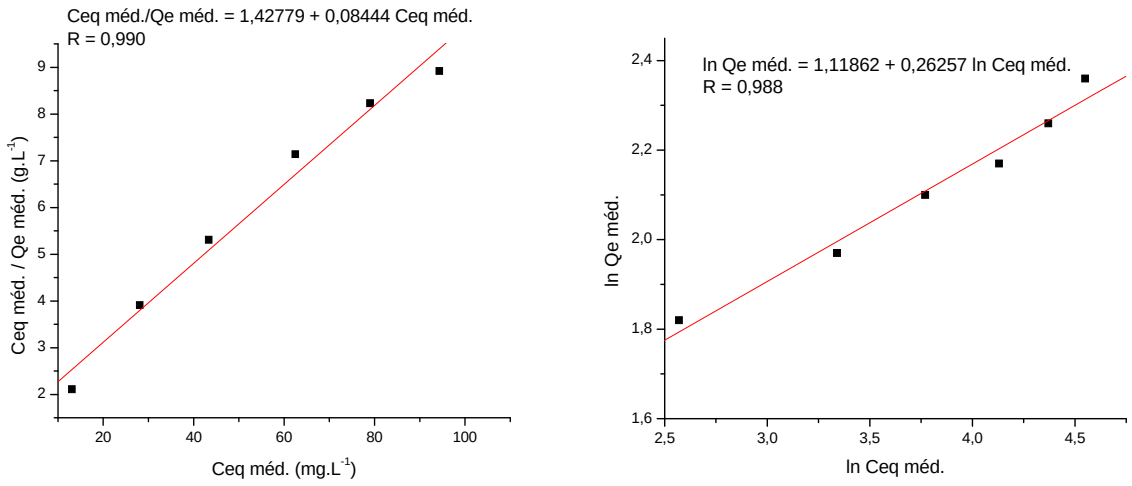


(a) (b)

Figura 4.7: Corante Amarelo de Drimarem: (a) Equação de Langmuir, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 4; (b) Equação de Freundlich, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 4.

Com os resultados obtidos (Anexo C) pôde-se observar que soluções do corante Amarelo de Drimarem em pH = 4, na faixa de concentração de 75 a 200 mg L^{-1}, revelam uma fração de corante não adsorvida na faixa de 13 a 98 mg L^{-1}. Observa-se, através da Figura 4.7 (a) e do coeficiente de correlação linear encontrado (R = 0,982), que o modelo de Langmuir se ajusta aos dados experimentais em pH = 4. Na Figura 4.7 (b), o coeficiente de correlação linear encontrado (R = 0,960) mostra que o modelo de Freundlich não se ajusta aos dados experimentais neste pH.

♦ **Corante Amarelo de Drimarem em pH = 10**



(a) (b)

Figura 4.8: Corante Amarelo de Drimarem: (a) Equação de Langmuir, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 10; (b) Equação de Freundlich, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 10.

Com os resultados obtidos (Anexo C) pôde-se observar que soluções do corante Amarelo de Drimarem em pH = 10, na faixa de concentração de 75 a 200 mg L^{-1}, revelam uma fração de corante não adsorvida na faixa de 12 a 95 mg L^{-1}. Observa-se, através da Figura 4.8 (a) e do coeficiente de correlação linear encontrado (R = 0,990), que o modelo de Langmuir se ajusta aos dados experimentais em pH = 10. Na Figura 4.8 (b), o coeficiente de correlação linear encontrado (R = 0,988) mostra que o modelo de Freundlich se ajusta aos dados experimentais neste pH.

Os parâmetros cinéticos obtidos, de acordo com o modelo de Langmuir e Freundlich, para a adsorção do corante Amarelo de Drimarem, são apresentados na Tabela 4.6.

Tabela 4.6: Comparação das constantes de Langmuir e Freundlich obtidas pelo processo de linearização do corante Amarelo de Drimarem em função do pH do meio.

pH	Constantes de Langmuir			Constantes de Freundlich		
	Qo ($mg.g^{-1}$)	b ($L.mg^{-1}$)	R	K	n	R
4	11,09	0,063	0,982	3,104	4,049	0,960
7	9,179	0,465	0,998	4,785	6,424	0,878
10	11,84	0,059	0,990	3,061	3,808	0,988

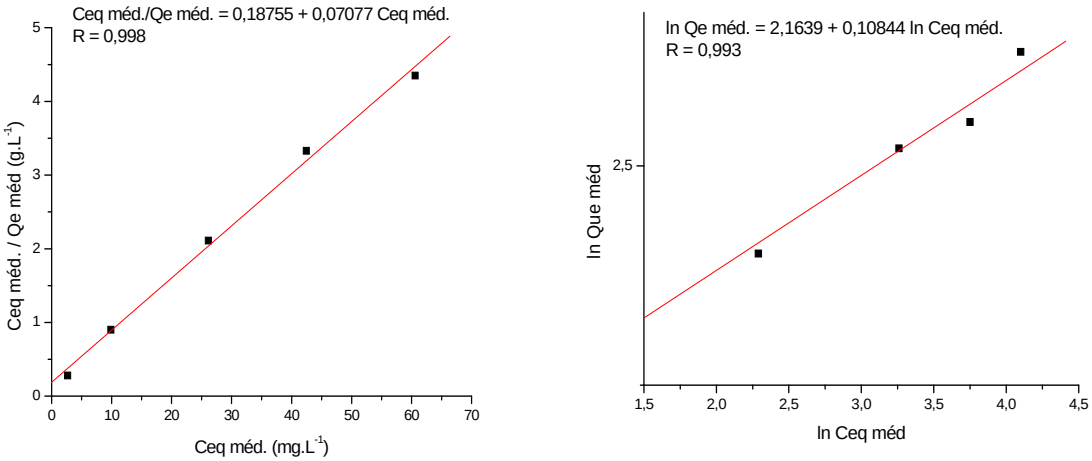
Comparando os coeficientes de correlação linear (R), verifica-se que o modelo de Langmuir é o mais adequado para descrever o mecanismo de adsorção deste corante. O parâmetro n, no intervalo de 1 a 10, indica um processo de adsorção favorável.

Em meio ácido ocorrem interações eletrostáticas entre os grupos aniônicos do corante (SO_3^-) e os sítios adsorventes do rejeito da fabricação da alumina, carregados positivamente. Comparando os valores do parâmetro b do corante Amarelo de Drimarem, obtidos em pH = 4 e pH = 10, observa-se uma maior intensidade de adsorção em pH = 4, podendo ser justificado pelas interações eletrostáticas que ocorrem em meio ácido.

Porém, estes valores são muito próximos e observa-se, também, uma intensidade de adsorção superior em pH = 7. Uma possível justificativa para este comportamento em pH = 7 seria os baixos valores de concentração média de corante no equilíbrio (Ceq méd.), que influenciam diretamente no cálculo do parâmetro b.

De acordo com DINCER, GUNES e KARAKAYA (2007) a baixa adsorção pode ser justificada pela estrutura química do corante e por moléculas de corantes que se agregam, dificultando sua difusão para o interior do adsorvente.

♦ **Corante Amarelo Remazol em pH = 7**



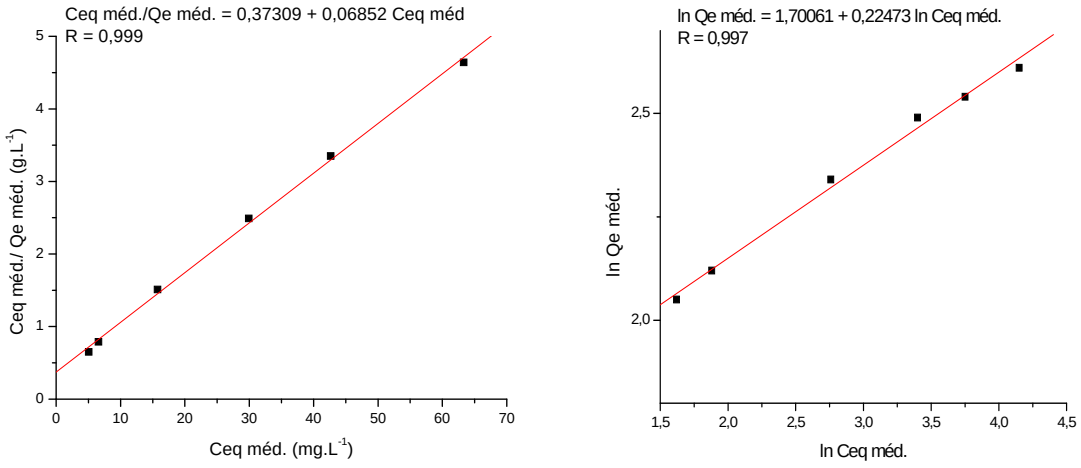
(a) (b)

Figura 4.9: Corante Amarelo Remazol: (a) Equação de Langmuir, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 7; (b) Equação de Freundlich, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 7.

Com os resultados obtidos (Anexo C) pôde-se observar que soluções do corante Amarelo Remazol em pH = 7, na faixa de concentração de 100 a 200 mg L^{-1}, revelam uma fração de corante não adsorvida na faixa de 1,6 a 60 mg L^{-1}. Estes valores encontram-se dentro da faixa de linearidade da curva analítica.

Observa-se, através da Figura 4.9 (a) e do coeficiente de correlação linear encontrado (R = 0,998), que o modelo de Langmuir se ajusta aos dados experimentais em pH = 7. Na Figura 4.9 (b), o coeficiente de correlação linear encontrado (R = 0,993) mostra que o modelo de Freundlich também se ajusta aos dados experimentais neste pH.

♦ **Corante Amarelo Remazol em pH = 4**



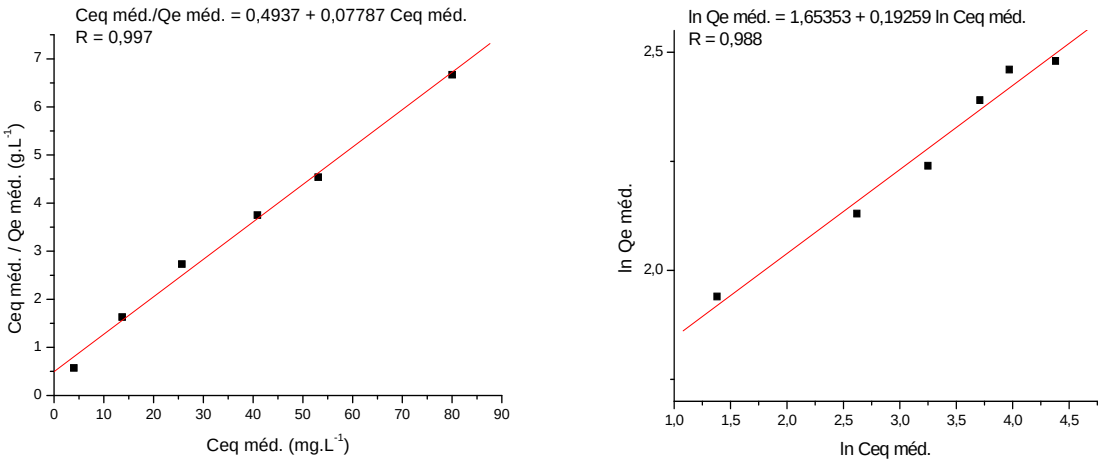
(a) (b)

Figura 4.10: Corante Amarelo Remazol: (a) Equação de Langmuir, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 4; (b) Equação de Freundlich, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 4.

Com os resultados obtidos (Anexo C) pôde-se observar que soluções do corante Amarelo Remazol em pH = 4, na faixa de concentração de 75 a 200 mg L^{-1}, revelam uma fração de corante não adsorvida na faixa de 4,8 a 63 mg L^{-1}. Estes valores encontram-se dentro da faixa de linearidade da curva analítica.

Observa-se, através da Figura 4.10 (a) e do coeficiente de correlação linear encontrado (R = 0,999), que o modelo de Langmuir se ajusta aos dados experimentais em pH = 4. Na Figura 4.10 (b), o coeficiente de correlação linear encontrado (R = 0,997) mostra que o modelo de Freundlich também se ajusta aos dados experimentais neste pH.

♦ **Corante Amarelo Remazol em pH = 10**



(a) (b)

Figura 4.11: Corante Amarelo Remazol: (a) Equação de Langmuir, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 10; (b) Equação de Freundlich, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 10.

Com os resultados obtidos (Anexo C) pôde-se observar que soluções do corante Amarelo Remazol em pH = 10, na faixa de concentração de 75 a 200 mg L^{-1}, revelam uma fração de corante não adsorvida na faixa de 3,6 a 80 mg L^{-1}. Estes valores encontram-se dentro da faixa de linearidade da curva analítica.

Observa-se, através da Figura 4.11 (a) e do coeficiente de correlação linear encontrado (R = 0,997), que o modelo de Langmuir se ajusta aos dados experimentais em pH = 10. Na Figura 4.11 (b), o coeficiente de correlação linear encontrado (R = 0,988) mostra que o modelo de Freundlich também se ajusta aos dados experimentais neste pH.

Os parâmetros cinéticos obtidos, de acordo com o modelo de Langmuir e Freundlich, para a adsorção do corante Amarelo Remazol, são apresentados na Tabela 4.7.

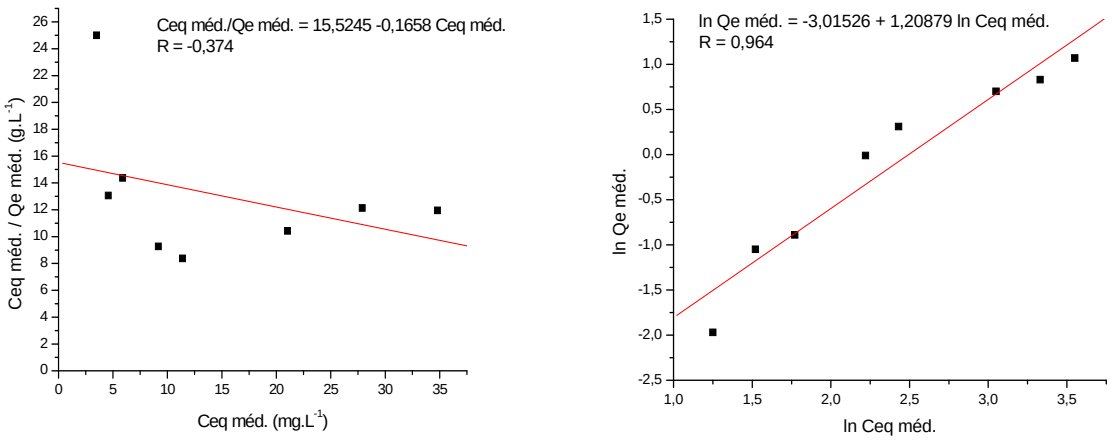
Tabela 4.7: Comparação das constantes de Langmuir e Freundlich obtidas pelo processo de linearização do corante Amarelo Remazol em função do pH do meio.

pH	Constantes de Langmuir			Constantes de Freundlich		
	Qo ($mg.g^{-1}$)	b ($L.mg^{-1}$)	R	K	n	R
4	14,59	0,188	0,999	5,477	4,449	0,997
7	14,13	0,377	0,998	8,705	9,221	0,993
10	12,84	0,158	0,997	5,225	5,192	0,988

Comparando os coeficientes de correlação linear (R), verifica-se que os modelos de Langmuir e Freundlich são adequados para descrever o mecanismo de adsorção deste corante. O parâmetro n, no intervalo de 1 a 10, indica um processo de adsorção favorável.

Comparando os valores do parâmetro b do corante Amarelo Remazol, obtidos em pH 4 e 10, observa-se uma maior intensidade de adsorção em pH 4, podendo ser justificado pelas interações eletrostáticas que ocorrem em meio ácido. Observa-se um comportamento análogo ao descrito para o corante Amarelo de Drimarem, discutido anteriormente.

- **Corante Azul de Drimarem em pH = 7**



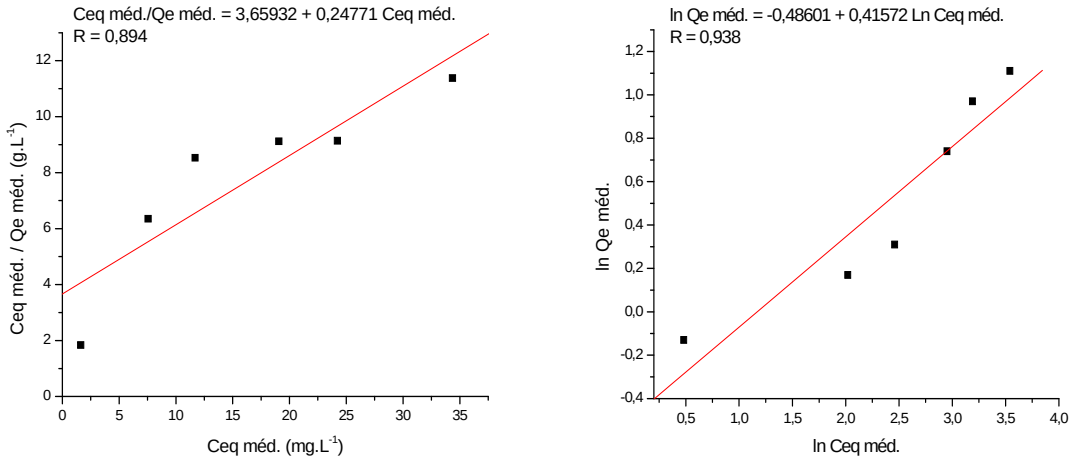
(a) (b)

Figura 4.12: Corante Azul de Drimarem: (a) Equação de Langmuir, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 7; (b) Equação de Freundlich, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 7.

Com os resultados obtidos (Anexo C) pôde-se observar que soluções do corante Azul de Drimarem em pH = 7, na faixa de concentração de 5 a 65 mg L^{-1}, revelam uma fração de corante não adsorvida na faixa de 3,3 a 36 mg L^{-1}. Estes valores encontram-se dentro da faixa de linearidade da curva analítica.

Observa-se, através da Figura 4.12 (a) e do coeficiente de correlação linear encontrado (R = -0,374), que o modelo de Langmuir não se ajusta aos dados experimentais em pH = 7. Na Figura 4.12 (b), o coeficiente de correlação linear encontrado (R = 0,964) mostra que o modelo de Freundlich também não se ajusta aos dados experimentais neste pH.

- **Corante Azul de Drimarem em pH = 4**



(a) (b)

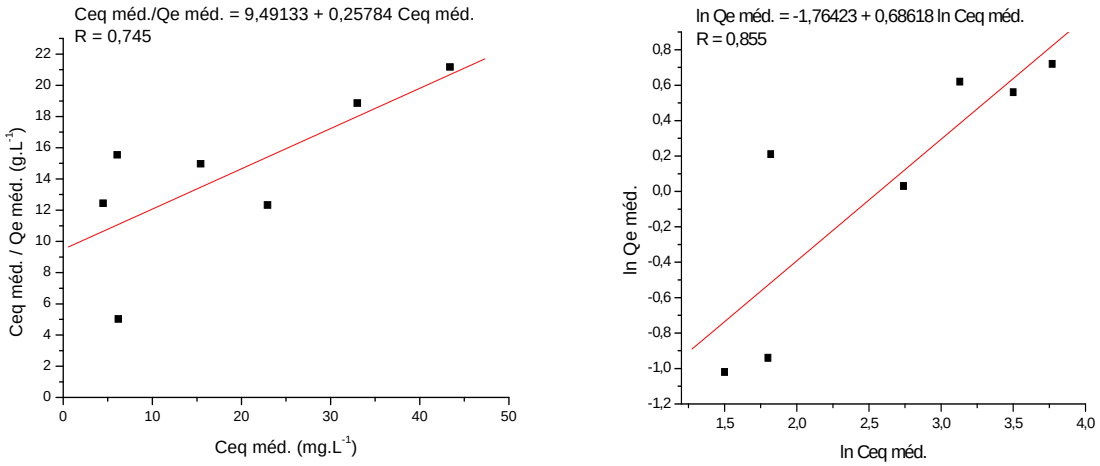
Figura 4.13: Corante Azul de Drimarem: (a) Equação de Langmuir, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 4; (b) Equação de Freundlich, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 4.

Com os resultados obtidos (Anexo C) pôde-se observar que soluções do corante Azul de Drimarem em pH = 4, na faixa de concentração de 10 a 65 mg L^{-1}, revelam uma fração de corante não adsorvida na faixa de 1,0 a 35 mg L^{-1}. Estes valores encontram-se dentro da faixa de linearidade da curva analítica.

Observa-se, através da Figura 4.13 (a) e do coeficiente de correlação linear encontrado (R = 0,894), que o modelo de Langmuir não se ajusta aos dados experimentais em pH = 4. Na

Figura 4.13 (b), o coeficiente de correlação linear encontrado (R = 0,938) mostra que o modelo de Freundlich também não se ajusta aos dados experimentais neste pH.

- **Corante Azul de Drimarem em pH = 10**



(a) (b)

Figura 4.14: Corante Azul de Drimarem: (a) Equação de Langmuir, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 10; (b) Equação de Freundlich, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 10.

Com os resultados obtidos (Anexo C) pôde-se observar que soluções do corante Azul de Drimarem em pH = 10, na faixa de concentração de 5 a 65 mg L^{-1}, revelam uma fração de corante não adsorvida na faixa de 4,4 a 47 mg L^{-1}. Estes valores encontram-se dentro da faixa de linearidade da curva analítica.

Observa-se, através da Figura 4.14 (a) e do coeficiente de correlação linear encontrado (R = 0,745), que o modelo de Langmuir não se ajusta aos dados experimentais em pH = 10. Na Figura 4.14 (b), o coeficiente de correlação linear encontrado (R = 0,855) mostra que o modelo de Freundlich também não se ajusta aos dados experimentais neste pH.

Os parâmetros cinéticos obtidos, de acordo com o modelo de Langmuir e Freundlich, para a adsorção do corante Azul de Drimarem, são apresentados na Tabela 4.8.

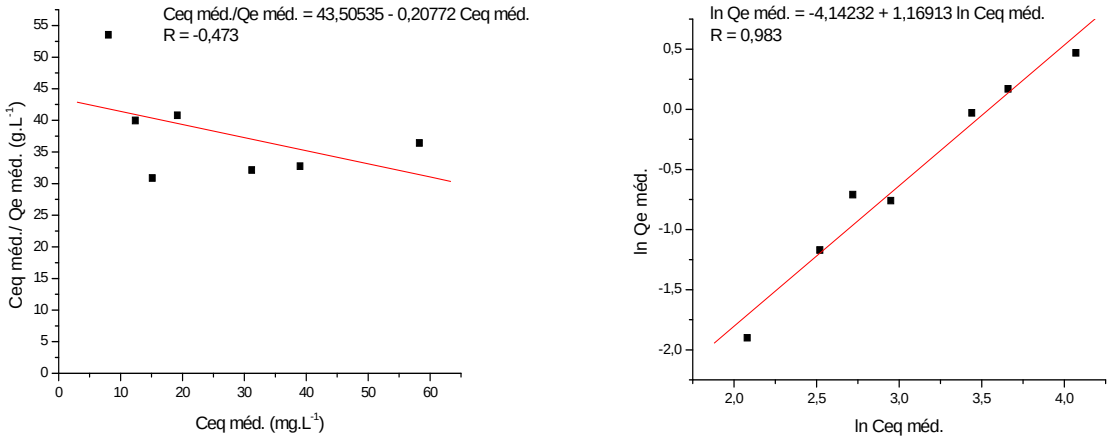
Tabela 4.8: Comparação das constantes de Langmuir e Freundlich obtidas pelo processo de linearização do corante Azul de Drimarem em função do pH do meio.

pH	Constantes de Langmuir			Constantes de Freundlich		
	Qo ($mg.g^{-1}$)	b ($L.mg^{-1}$)	R	K	n	R
4	4,037	0,068	0,894	0,615	2,406	0,938
7	-6,031	-0,011	-0,374	0,049	0,827	0,964
10	3,878	0,027	0,745	0,171	1,457	0,855

Comparando os coeficientes de correlação linear (R), verifica-se que os modelos de Langmuir e Freundlich não são adequados para descrever o mecanismo de adsorção deste corante. O parâmetro n = 0,827, obtido a partir dos cálculos em pH = 7, indica um processo de adsorção desfavorável neste pH.

Uma melhor interpretação dos resultados obtidos para o corante Azul de Drimarem pode ser obtida através do estudo da ordem da reação deste corante, para descobrir qual o modelo cinético mais adequado para descrever este mecanismo de adsorção.

- **Corante Azul Dianix em pH = 7**



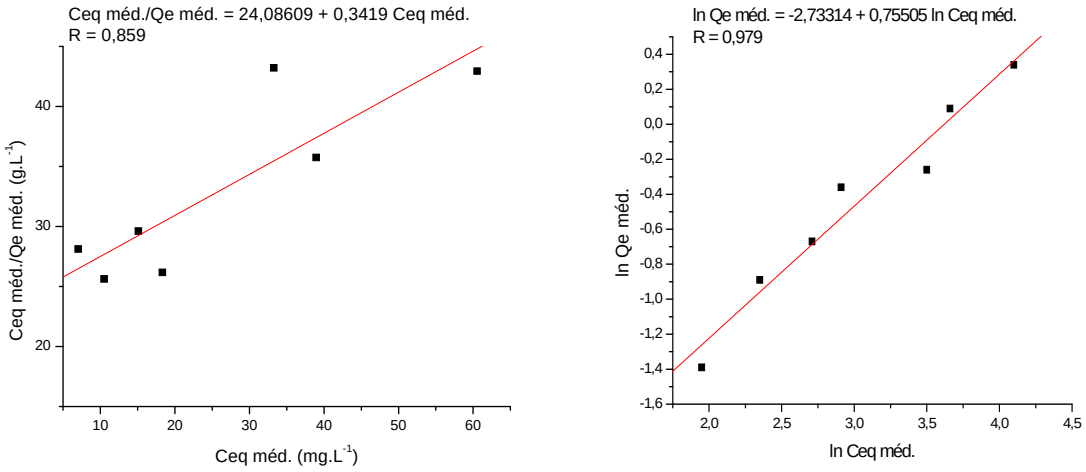
(a) (b)

Figura 4.15: Corante Azul Dianix: (a) Equação de Langmuir, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 7; (b) Equação de Freundlich, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 7.

Com os resultados obtidos (Anexo C) pôde-se observar que soluções do corante Azul Dianix em pH = 7, na faixa de concentração de 10 a 75 mg L^{-1}, revelam uma fração de corante não adsorvida na faixa de 7,9 a 58 mg L^{-1}. Estes valores encontram-se dentro da faixa de linearidade da curva analítica.

Observa-se, através da Figura 4.15 (a) e do coeficiente de correlação linear encontrado (R = -0,473), que o modelo de Langmuir não se ajusta aos dados experimentais em pH = 7. Na Figura 4.15 (b), o coeficiente de correlação linear encontrado (R = 0,983) mostra que o modelo de Freundlich se ajusta aos dados experimentais neste pH.

- **Corante Azul Dianix em pH = 4**



(a) (b)

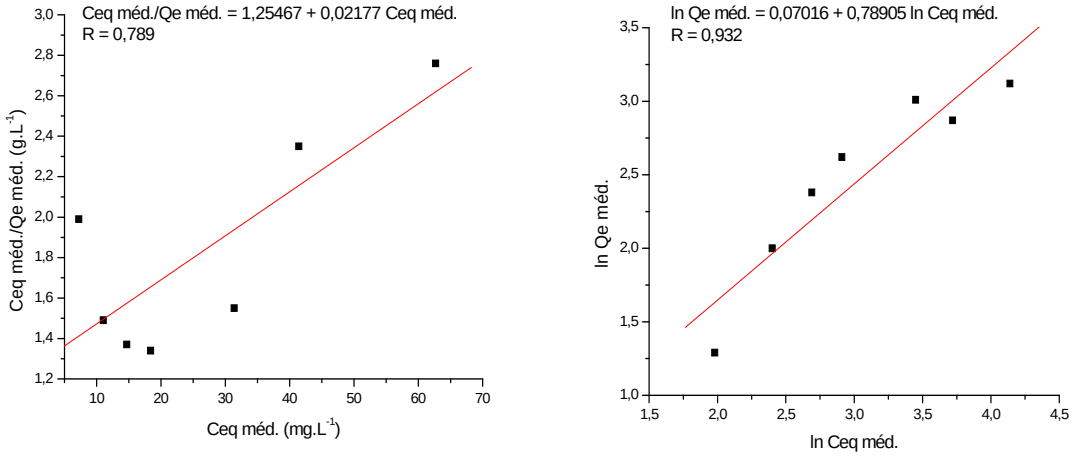
Figura 4.16: Corante Azul Dianix: (a) Equação de Langmuir, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 4; (b) Equação de Freundlich, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 4.

Com os resultados obtidos (Anexo C) pôde-se observar que soluções do corante Azul Dianix em pH = 4, na faixa de concentração de 10 a 75 mg L^{-1}, revelam uma fração de corante não adsorvida na faixa de 6,9 a 62 mg L^{-1}. Estes valores encontram-se dentro da faixa de linearidade da curva analítica.

Observa-se, através da Figura 4.16 (a) e do coeficiente de correlação linear encontrado (R = 0,859), que o modelo de Langmuir não se ajusta aos dados experimentais em pH = 7. Na

Figura 4.16 (b), o coeficiente de correlação linear encontrado (R = 0,979) mostra que o modelo de Freundlich se ajusta aos dados experimentais neste pH.

- **Corante Azul Dianix em pH = 10**



(a) (b)

Figura 4.17: Corante Azul Dianix: (a) Equação de Langmuir, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 10; (b) Equação de Freundlich, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 10.

Com os resultados obtidos (Anexo C) pôde-se observar que soluções do corante Azul Dianix em pH = 10, na faixa de concentração de 10 a 75 mg L^{-1}, revelam uma fração de corante não adsorvida na faixa de 7,1 a 63 mg L^{-1}. Estes valores encontram-se dentro da faixa de linearidade da curva analítica.

Observa-se, através da Figura 4.17 (a) e do coeficiente de correlação linear encontrado (R = 0,789), que o modelo de Langmuir não se ajusta aos dados experimentais em pH = 10. Na Figura 4.17 (b), o coeficiente de correlação linear encontrado (R = 0,932) mostra que o modelo de Freundlich não se ajusta aos dados experimentais neste pH.

Os parâmetros cinéticos obtidos, de acordo com o modelo de Langmuir e Freundlich, para a adsorção do corante Azul Dianix, são apresentados na Tabela 4.9.

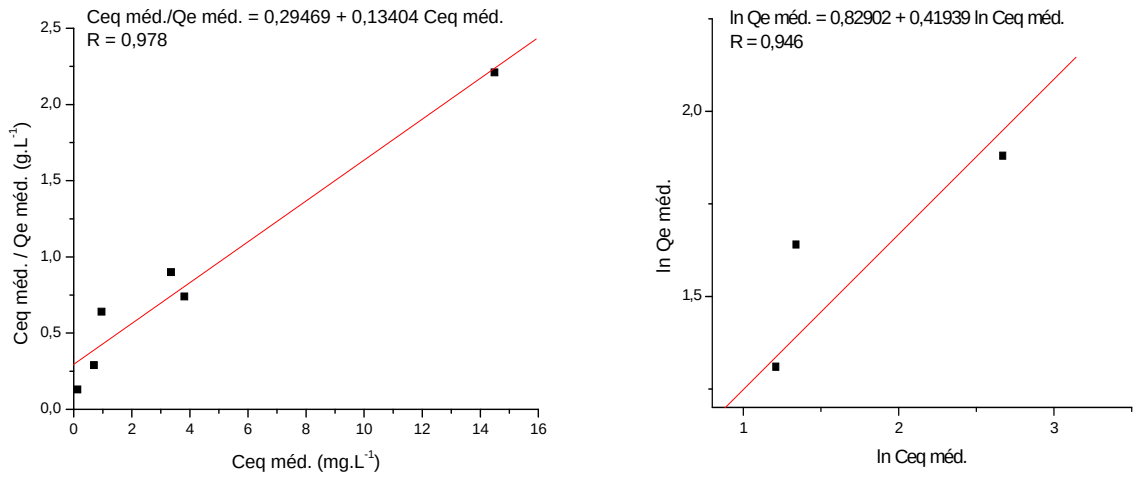
Tabela 4.9: Comparação das constantes de Langmuir e Freundlich obtidas pelo processo de linearização do corante Azul Dianix em função do pH do meio.

pH	Constantes de Langmuir			Constantes de Freundlich		
	Qo ($mg.g^{-1}$)	b ($L.mg^{-1}$)	R	K	n	R
4	2,925	0,014	0,859	0,065	1,324	0,979
7	-4,814	-0,005	-0,473	0,016	0,855	0,983
10	45,93	0,017	0,789	1,073	1,267	0,932

Comparando os coeficientes de correlação linear (R), verifica-se que os modelos de Langmuir e Freundlich não são adequados para descrever o mecanismo de adsorção deste corante. O parâmetro n = 0,855, encontrado a partir dos cálculos em pH = 7, indica um processo de adsorção desfavorável neste pH.

Da mesma forma como foi sugerida para o corante Azul de Drimarem, uma melhor interpretação dos resultados obtidos para o corante Azul Dianix pode ser obtida através do estudo da ordem da reação deste corante, para descobrir qual o modelo cinético mais adequado para descrever este mecanismo de adsorção.

- **Corante Vermelho Dianix em pH = 7**



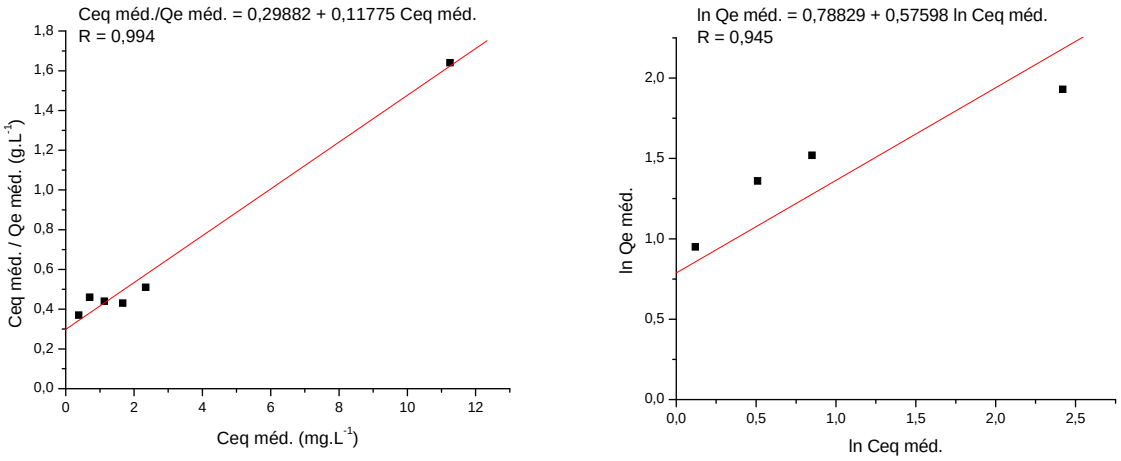
(a) (b)

Figura 4.18: Corante Vermelho Dianix: (a) Equação de Langmuir, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 7; (b) Equação de Freundlich, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 7.

Com os resultados obtidos (Anexo C) pôde-se observar que soluções do corante Vermelho Dianix em pH = 7, na faixa de concentração de 10 a 80 mg L^{-1}, revelam uma fração de corante não adsorvida na faixa de 0,1 a 15 mg L^{-1}. Estes valores encontram-se dentro da faixa de linearidade da curva analítica.

Observa-se, através da Figura 4.18 (a) e do coeficiente de correlação linear encontrado (R = 0,978), que o modelo de Langmuir se ajusta aos dados experimentais em pH = 7. Na Figura 4.18 (b), o coeficiente de correlação linear encontrado (R = 0,946) mostra que o modelo de Freundlich não se ajusta aos dados experimentais neste pH.

- **Corante Vermelho Dianix em pH = 4**



(a) (b)

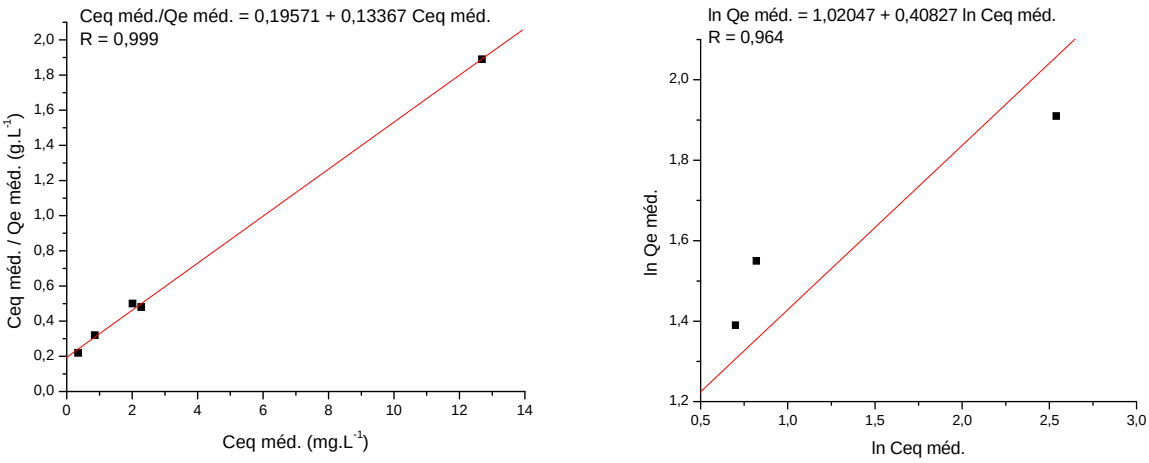
Figura 4.19: Corante Vermelho Dianix: (a) Equação de Langmuir, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 4; (b) Equação de Freundlich, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 4.

Com os resultados obtidos (Anexo C) pôde-se observar que soluções do corante Vermelho Dianix em pH = 4, na faixa de concentração de 10 a 80 mg L^{-1}, revelam uma fração de corante não adsorvida na faixa de 0,2 a 11 mg L^{-1}. Estes valores encontram-se dentro da faixa de linearidade da curva analítica.

Observa-se, através da Figura 4.19 (a) e do coeficiente de correlação linear encontrado (R = 0,993), que o modelo de Langmuir se ajusta aos dados experimentais em pH = 4. Na

Figura 4.19 (b), o coeficiente de correlação linear encontrado (R = 0,945) mostra que o modelo de Freundlich não se ajusta aos dados experimentais neste pH.

- **Corante Vermelho Dianix em pH = 10**



(a) (b)

Figura 4.20: Corante Vermelho Dianix: (a) Equação de Langmuir, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 10; (b) Equação de Freundlich, na sua forma linearizada, ajustada aos dados experimentais em pH = 10.

Com os resultados obtidos (Anexo C) pôde-se observar que soluções do corante Vermelho Dianix em pH = 10, na faixa de concentração de 10 a 80 mg L^{-1}, revelam uma fração de corante não adsorvida na faixa de 0,3 a 12 mg L^{-1}. Estes valores encontram-se dentro da faixa de linearidade da curva analítica.

Observa-se, através da Figura 4.20 (a) e do coeficiente de correlação linear encontrado (R = 0,999), que o modelo de Langmuir se ajusta aos dados experimentais em pH = 10. Na Figura 4.20 (b), o coeficiente de correlação linear encontrado (R = 0,964) mostra que o modelo de Freundlich não se ajusta aos dados experimentais neste pH.

Os parâmetros cinéticos obtidos, de acordo com o modelo de Langmuir e Freundlich, para a adsorção do corante Vermelho Dianix, são apresentados na Tabela 4.10.

Tabela 4.10: Comparação das constantes de Langmuir e Freundlich obtidas pelo processo de linearização do corante Vermelho Dianix em função do pH do meio.

pH	Constantes de Langmuir			Constantes de Freundlich		
	Qo ($mg.g^{-1}$)	b ($L.mg^{-1}$)	R	K	n	R
4	8,493	0,394	0,993	2,199	1,736	0,945
7	7,460	0,455	0,978	2,291	2,384	0,946
10	7,481	0,683	0,999	2,775	2,449	0,964

Comparando os coeficientes de correlação linear (R), verifica-se que o modelo de Langmuir é o mais adequado para descrever o mecanismo de adsorção deste corante. O parâmetro n, no intervalo de 1 a 10, indica um processo de adsorção favorável.

Observando-se a estrutura do Vermelho Dianix, verifica-se que em baixo valor de pH, provavelmente o corante apresentará uma carga positiva. Como a alumina apresenta um caráter básico, a superfície do adsorvente, em um baixo valor de pH, em virtude da ligação com o íon hidrônio (H_3O^+), também deverá torna-se positiva. Este fato redundará que, em meio ácido, haverá uma baixa constante de adsorção. À medida que aumenta o pH, o caráter básico da alumina permitirá uma ligação mais forte do adsorvente com o grupo eletrofílico do corante. Este fato, conseqüentemente, leva a um aumento do valor da constante de adsorção.

4.4. Análises das Amostras de Efluentes

A Tabela 4.11 apresenta os resultados das análises dos parâmetros físicos e físico-químicos realizadas, segundo o Standard Methods (APHA, 1998), com o efluente bruto e o tratado pelo sistema de lodos ativados da Companhia Itabirito Industrial.

Os resultados obtidos nestas análises foram comparados à Deliberação Normativa 10/86 (COPAM, 1986) e 357/2005 (CONAMA, 2005), que estabelece os valores máximos permitidos ao lançamento destes efluentes. Para o parâmetro DQO foi utilizada a Deliberação Normativa 47/2001 (COPAM, 2001).

Tabela 4.11: Resultados das análises dos parâmetros físicos e físico-químicos realizadas com o efluente bruto e tratado.

Parâmetro	Padrão	Efluente Bruto	Efluente Tratado
pH	6,5 – 8,5 (COPAM 10/86) 5 – 9 (CONAMA 357/2005)	12,4	8,00
Condutividade elétrica (mS cm^{-1})		3,84	2,61
Temperatura (°C)	< 30°C (COPAM 10/86) < 40 C (CONAMA 357/2005)	25	23
Oxigênio Dissolvido (mg L^{-1})		7,47	5,04
DQO (mg L^{-1})	250 mg L^{-1} (COPAM 47/2001)	2765	544,2
DBO_5 (mg L^{-1})	60 mg L^{-1} (COPAM 10/86)	928	337
Sólidos em Suspensão (mg L^{-1})	100 mg L^{-1} (COPAM 10/86)	205	31,0
Dureza (mg L^{-1})		56,0	328
Cloretos (mg L^{-1})		18,0	83,5
Índice de Fenóis (mg L^{-1})	0,2 mg L^{-1} (COPAM 10/86) 0,5 mg L^{-1} (CONAMA 357/2005)	ND	ND
Sulfeto (mg L^{-1})	0,5 mg L^{-1} (COPAM 10/86) 1,0 mg L^{-1} (CONAMA 357/2005)	2,20	1,77
Detergentes (mg L^{-1})	2,0 mg L^{-1} (COPAM 10/86)	7,89	0,50
Amônia (mg L^{-1})		ND	ND

ND: não detectado.

Os parâmetros físicos analisados foram pH, condutividade elétrica, temperatura, sólidos em suspensão e oxigênio dissolvido. Os resultados destes parâmetros encontram-se dentro dos padrões permitidos para o lançamento de efluentes.

Dos parâmetros físico-químicos analisados, a DQO, a DBO e sulfeto apresentaram valores acima dos padrões recomendados. O efluente têxtil possui elevada relação DQO/DBO devido principalmente à natureza pouco biodegradável dos poluentes presentes.

Nos parâmetros dureza e cloretos, observaram-se valores maiores no efluente tratado em comparação com o efluente bruto. O efluente bruto, ao passar pelo sistema de lodos ativados da empresa, recebe uma carga de esgoto doméstico. Isso pode ser responsável pelo valor mais alto de cloretos efluente tratado, já que este parâmetro é indicativo de poluição por esgoto.

Os parâmetros amônia e índice de fenóis não foram detectados. A quantidade de detergentes encontrada está dentro dos padrões permitidos. As análises de óleos e graxas não puderam ser concluídas devido à presença de corantes no efluente bruto e tratado, que interferiram no resultado.

A legislação estadual não estabelece padrão de emissão para a cor. Entretanto, não pode ser atribuída coloração aos rios. Os efluentes têxteis caracterizam-se por serem altamente coloridos, devido à presença de corantes que não se fixam completamente à fibra do tecido no processo de tingimento.

4.5. Tratamento dos Efluentes

Para verificar a eficiência do processo de adsorção, foram realizadas análises de DQO e varreduras na região do UV – Visível do efluente industrial.

Na primeira amostragem, o corante que estava sendo utilizado pela empresa, era o Vermelho Trifix CNRS. O efluente também apresenta outros produtos auxiliares, tais como: sais dissolvidos, tensoativos, óleos e traços de metais. Na segunda amostragem, havia uma mistura de corantes reativos: Vermelho, Amarelo e Azul Trifix.

A Tabela 4.12 mostra os resultados de DQO do efluente industrial bruto e tratado pelo sistema de lodos ativados da empresa, após os ensaios de adsorção usando o rejeito da fabricação de alumina – pó retido no filtro eletrostático e carvão ativado, referentes à primeira amostragem.

Tabela 4.12: Ensaios de adsorção do efluente industrial com 3,0 gramas de adsorvente e tempo de agitação de 6 horas à temperatura ambiente – 1ª amostragem.

Amostra	Valor de DQO ($mg.L^{-1}$)	Redução da DQO (%)
Efluente bruto	2249,0	-
Efluente bruto + alumina	688,99	69,36
Efluente bruto + carvão	693,03	69,19
Efluente tratado	903,59	-
Efluente tratado + alumina	532,43	41,08
Efluente tratado + carvão	504,14	44,21

Os resultados da Tabela 4.12 mostram que, no caso do efluente industrial, a adsorção com carvão ativado é mais efetiva do que com o pó do filtro eletrostático.

Na Figura 4.21 são mostrados os espectros de varredura na região do UV-Vísível, para o efluente com e sem adsorção.

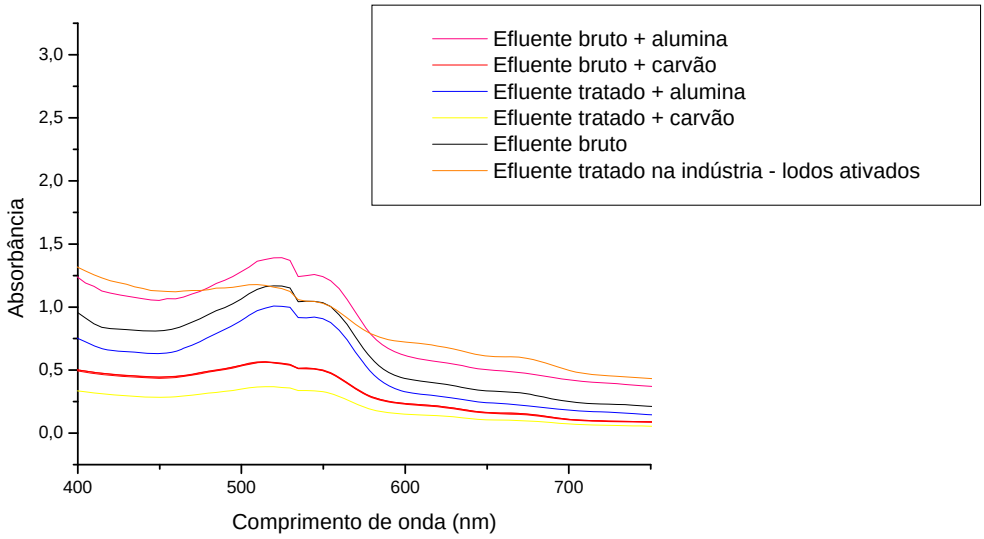


Figura 4.21: Espectro de varredura na região do UV-visível para o efluente têxtil bruto e tratado com e sem adsorção, usando 3,0 gramas do adsorvente em um tempo de agitação de 6 horas, referente a 1ª amostragem.

Os resultados apresentados na Tabela 4.12 podem ser confirmados pela Figura 4.21, a qual mostra que a adsorção com carvão ativado é mais efetiva do que com o pó do filtro eletrostático.

Testes de adsorção com o corante hidrolisado (PEREIRA *et al*, 2003), ou seja, na forma em que é utilizado na indústria têxtil, não alteram os resultados. Assim, a causa provável deste efeito é que no efluente industrial há vários outros contaminantes orgânicos, que ligados ao corante, são preferencialmente adsorvidos pelo carvão ativado.

A Tabela 4.13 e a Figura 4.22 mostram os resultados de DQO e da varredura UV-Visível, para os testes de adsorção, em uma segunda amostragem, com 2,0 gramas de adsorvente e tempo de agitação de 2 horas.

Tabela 4.13: Ensaios de adsorção do efluente industrial com 2,0 gramas de adsorvente e tempo de agitação de 2 horas à temperatura ambiente – 2ª amostragem.

Amostra	Valor de DQO ($mg.L^{-1}$)	Redução da DQO (%)
Efluente bruto	2765	-
Efluente bruto + alumina	2418	12,57
Efluente bruto + carvão	2126	23,13
Efluente tratado	544,2	-
Efluente tratado + alumina	356,7	34,46
Efluente tratado + carvão	287,9	47,09

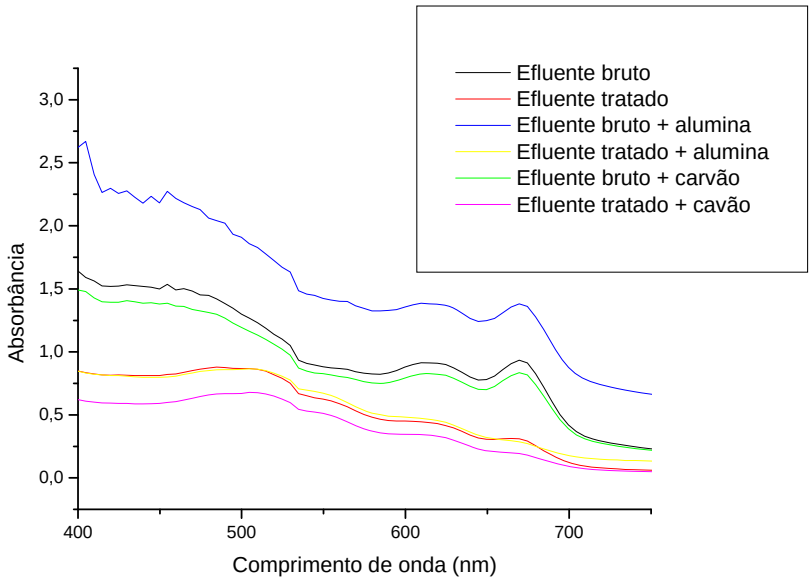


Figura 4.22: Espectro de varredura na região do UV-visível para o efluente têxtil bruto e tratado com e sem adsorção, usando 2,0 gramas do adsorvente em um tempo de agitação de 2 horas, referente a 2ª amostragem.

Os efluentes (bruto e tratado) da segunda amostragem apresentavam uma mistura de corantes. A indústria estava operando com uma menor capacidade e, no tanque de equalização, foram misturados efluentes com vários tipos de corantes. Na Figura 4.22 confirma-se tal fato com a presença de vários picos na região do visível.

Observa-se, através dos resultados da Tabela 4.13 e da Figura 4.22, uma menor eficiência do processo de adsorção. As causas podem ser, ou a menor massa de adsorvente utilizado, ou a redução do tempo de adsorção.

Para descobrir qual o fator predominante, foram repetidos os testes de adsorção com 2,0 gramas de adsorvente e com um tempo de agitação de 6 horas. Os resultados desta etapa encontram-se na Tabela 4.14.

Tabela 4.14: Ensaios de adsorção do efluente industrial com 2,0 gramas de adsorvente e tempo de agitação de 6 horas à temperatura ambiente – 2ª amostragem.

Amostra	**Valor de DQO ($mg.L^{-1}$)**	**Redução da DQO (%)**
Efluente bruto	2765	-
Efluente bruto + alumina	2510	9,230
Efluente bruto + carvão	2269	17,96
Efluente tratado	544,2	-
Efluente tratado + alumina	645,2	*
Efluente tratado + carvão	255,9	52,98

* Não pôde ser calculada.

Os resultados apresentados na Tabela 4.14 mostram que a eficiência do processo de adsorção, em relação ao efluente bruto, diminui com o aumento do tempo de agitação.

O resultado de DQO encontrado para o efluente tratado após adsorção com rejeito de fabricação da alumina apresentou-se superior ao resultado do efluente tratado sem adsorção. Uma justificativa seria a presença de partículas em suspensão, que dificultaram a leitura da amostra.

Já o resultado encontrado para o efluente tratado após adsorção com carvão mostra que o processo de adsorção é favorecido com o aumento do tempo de agitação. Sendo assim, com este teste não foi possível descobrir o fator predominante para a maior eficiência do processo de adsorção.

Foram realizados novos ensaios de adsorção, com diferentes massas de adsorventes e com um mesmo tempo de agitação. Os resultados encontram-se nas Tabelas 4.15 e 4.16.

Tabela 4.15: Ensaios de adsorção do efluente industrial com 3,0 gramas de adsorvente e tempo de agitação de 6 horas à temperatura ambiente – 2ª amostragem.

Amostra	**Valor médio de DQO ($mg\ L^{-1}$)**	**Redução média de DQO (%)**
Efluente Bruto	2348	-
Efluente Bruto + Alumina	1909	18,70
Efluente Bruto + Carvão	1147	51,15
Efluente Tratado	870,3	-
Efluente Tratado + Alumina	636,3	26,89
Efluente Tratado + Carvão	485,5	44,22

Tabela 4.16: Ensaios de adsorção do efluente industrial com 0,5 grama de adsorvente e tempo de agitação de 6 horas à temperatura ambiente – 2ª amostragem.

Amostra	**Valor médio de DQO ($mg\ L^{-1}$)**	**Redução média de DQO (%)**
Efluente Bruto	2348	-
Efluente Bruto + Alumina	825,9	64,82
Efluente Bruto + Carvão	740,5	68,46
Efluente Tratado	870,3	-
Efluente Tratado + Alumina	452,2	48,04
Efluente Tratado + Carvão	362,3	58,36

Os resultados das Tabelas 4.15 e 4.16 e a Figura 4.23 mostram que a eficiência do processo de adsorção aumenta com a diminuição da massa de adsorvente.

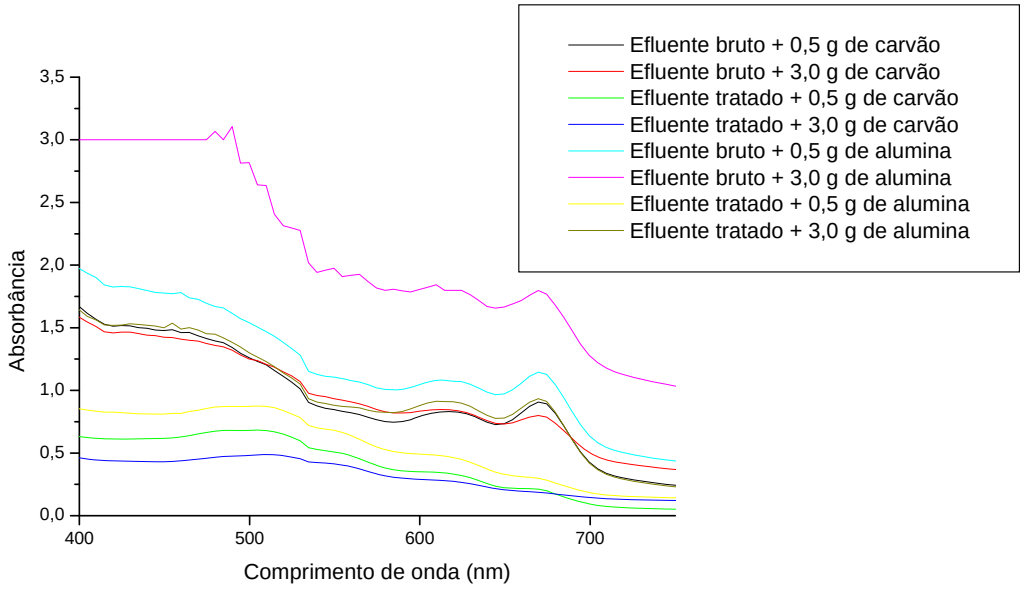


Figura 4.23: Espectro de varredura na região do UV-visível para o efluente têxtil bruto e tratado, após adsorção, usando 0,5 e 3,0 gramas do adsorvente em um tempo de agitação de 6 horas, referente a 2ª amostragem.

As amostras foram centrifugadas antes de realizar a leitura de DQO para garantir a ausência de partículas em suspensão no momento da leitura de absorbância. Diante destes resultados, não foi possível concluir a respeito da influência da massa de adsorvente e do tempo de agitação no processo de adsorção. Seriam necessárias outras análises para verificar este efeito.

5. Conclusão

De acordo com os objetivos estabelecidos para este trabalho, foi possível estudar a adsorção de corantes utilizando carvão ativado e o rejeito da fabricação de alumina como adsorventes. Os resultados obtidos demonstraram a aplicabilidade do rejeito como adsorvente, que, em todos os testes de adsorção com corantes puros, mostrou maior eficiência de remoção de corante em comparação ao carvão ativado.

Nos testes de adsorção com corantes puros o equilíbrio foi atingido com 1 hora de agitação, exceto para o corante Azul Dianix, estabelecido em 15 minutos. A maior porcentagem de remoção de corante ocorreu com a utilização de 0,50 grama do rejeito. Para os corantes Amarelo de Drimarem, Amarelo Remazol e Vermelho Dianix a porcentagem de remoção de corante superou 90%. Para os corantes Azul de Drimarem e Azul Dianix, a porcentagem de remoção de corante foi em torno de 50% e 25%, respectivamente.

O modelo de isotermas de adsorção de Langmuir mostrou-se adequado para descrever o mecanismo de adsorção dos corantes Amarelo de Drimarem (em pH = 7), Amarelo Remazol (em pH = 7) e Vermelho Dianix (em pH = 10). Para os corantes Azul de Drimarem e Azul Dianix não houve ajuste dos dados experimentais segundo este modelo. Considerando o modelo de isotermas de adsorção de Freundlich, os melhores ajustes ocorreram com dados experimentais dos corantes Amarelo de Drimarem (em pH =10), Amarelo Remazol (em pH = 7, 4 e 10) e Azul Dianix (em pH = 7), não ocorrendo o ajuste dos dados experimentais dos corantes Azul de Drimarem e Vermelho Dianix segundo este modelo. Uma melhor interpretação dos resultados obtidos para o corante Azul de Drimarem pode ser obtida através do estudo da ordem da reação deste corante, a fim de identificar o modelo cinético mais adequado para descrever seu mecanismo de adsorção, já que os dados experimentais não se ajustaram aos modelos de Langmuir e Freundlich.

As análises físico-químicas realizadas com o efluente gerado pela indústria têxtil mostraram que alguns parâmetros, como DQO, se encontram fora da faixa estabelecida pela Legislação. O método de tratamento de efluente proposto revelou uma redução de DQO em torno de 45%, quando o efluente tratado pelo sistema de lodos ativados recebe um tratamento adicional de adsorção, usando carvão ativado como adsorvente. Utilizando o rejeito da fabricação da alumina, a redução de DQO foi menor, em torno de 30%. A aplicação de processos combinados melhora a eficiência do sistema, já que supre a deficiência dos tratamentos quando aplicados isoladamente.

6. Recomendações

Os ensaios realizados neste trabalho mostraram a aplicabilidade de um rejeito industrial como adsorvente. Assim, ressalta-se a importância da continuidade deste estudo, visando maior eficiência do processo de tratamento de efluentes, em menor tempo e minimizando os custos de implantação do projeto.

Sugere-se, para trabalhos futuros, a utilização de métodos de biodegradação, tratamento com ozônio, fotocatálise heterogênea e utilização de tecnologias de membranas, que representam as últimas tendências no tratamento de efluentes têxteis. Recomenda-se, também, testar a combinação de processos oxidativos avançados (POAs) como alternativas aos processos de tratamento estabelecidos atualmente.

7. Referências Bibliográficas

ALMEIDA, A. C. M.; PEDRO, R. J.; CORSO, C. R. **Remoção de corante têxtil por turfa nativa através de adsorção em diferentes concentrações hidrogeniônicas**. Arq. Inst. Biol., São Paulo, v. 71, p. 1-749, 2004.

ALMEIDA, E.; ASSALIN, M. R.; ROSA, M. A. **Tratamento de efluentes industriais por processos oxidativos na presença de ozônio.** Química Nova, vol. 27, n°5, 818 – 824, 2004.

ALLEN, S. J.; McKAY, G.; PORTER, J. F. **Adsorption isotherm models for basic dye adsorption by peat in single and binary component systems**. Journal of Colloid and Interface Science, 280 (2004) 322-333.

ANDRADE, F. L. I. **Possibilidades de Redução da Carga poluidora para a Indústria de Acabamentos de Malhas do Estado de Minas Gerais**. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia, Departamentos de Engenharia Sanitária e Ambiental e Engenharia Hidráulica e de Recursos Hídricos. UFMG, 1999.

APHA (1998). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20ª edition.

ARAÚJO, D. M. **Extração de ouro em efluentes cianetados com carvão ativado quimicamente modificado**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Química. UFMG, 2003.

ATKINS, P.; PAULA, J. **Físico-Química**. 7 ed. v. 3. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2004.

BAIRD, C. **Química Ambiental**. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

BANAT, I. M. *et al* Bioresource Technol. 58, 217 (1996). *Apud* FERREIRA, O. P**. Desenvolvimento de materiais porosos bidimensionais, à base de Al^{+3} e M^{+2} (Zn, Mg), para uso na remediação de efluentes de Indústrias Têxteis**. 2001. 132 p. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo.

BECHTOLD, T.; MADER, C.; MADER, J. **Cathodic decolourization of textile dyebaths: Tests with full scale plant.** Journal of Applied Electrochemistry (2002), 32(9), 943-950.

CASTELLAN, G. **Fundamentos de Físico-Química.** Rio de Janeiro: LTC Editora, 1986.

CAVALCANTI, L. F. N. **Degradação de Corantes da Indústria Têxtil: Aplicação dos Processos de Ozonização, Ozonização Catalítica e Adsorção/Fotocatálise.** Escola de Engenharia, Departamentos de Engenharia Sanitária e Ambiental e Engenharia Hidráulica e de Recursos Hídricos, UFMG, Dissertação de Mestrado, Belo Horizonte, MG, 2001.

CHOU, P. H.; MATSUI, S.; MATSUDA, T. **Detection and identification of dyes showing AhR - binding affinity in treated sewage effluents.** Water Science and Technology (2006), 53(11, Water and Wastewater Management for Sustanable Development of Chemical Industries), 35-42.

COLLINS, C. H.; BRAGA, G. L.; BONATO, P. S. **Introdução a métodos cromatográficos**. 7 ed. Campinas: Editora da Unicamp, 1997.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente, Resolução n° 357 de 17 de março de 2005.

COPAM - Conselho de Proteção Ambiental, Deliberação Normativa nº 10 de 16 de dezembro de 1986, Minas Gerais.

COPAM – Conselho de Proteção Ambiental, Deliberação Normativa n° 47 de 9 de agosto de 2001, Minas Gerais.

COSTA, F. C. et al. **Tratamento do efluente de uma indústria química pelo processo de lodos ativado convencional e combinado com carvão ativado.** Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 8, n° 4, out/dez, 2003.

CROCKFORD, H. D. **Fundamentos de Físico-Química**. Rio de Janeiro: LTC Editora, 1977.

DALLAGO, R. M.; SMANIOTTO, A.; OLIVEIRA, L. C. A. **Resíduos sólidos de curtumes como adsorventes para a remoção de corantes em meio aquoso**. Química Nova, vol. 28, n°3, 433-437, 2005.

DINCER, A. R.; GUNES¸ Y.; KARAKAYA, N. **Coal-based bottom ash (CBBA) waste material as adsorbent for removal of textile dyestuffs from aqueous solution.** Journal of Hazardous Materials 141 (2007) 529–535.

FAHL, P. *et al*. **Biosorção do corante azóico "Acid Yellow 25" por *Aspergillus oryzae* paramorfogênico.** Arq. Inst. Biol., São Paulo, v. 71, p. 1-749, 2004.

FERREIRA, O. P**. Desenvolvimento de materiais porosos bidimensionais, à base de Al^{+3} e M^{+2} (Zn, Mg), para uso na remediação de efluentes de Indústrias Têxteis**. 2001. 132 p. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo.

GONÇALVES, J. F. **Rejeito Industrial da Fabricação da Alumina: Estudos de Adsorção e Reciclagem**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Química. UFMG, 2003.

GRUENWALD, M.; BURTSCHER, E.; BOBLETER, O. **Determination of dyeing parameters by liquid chromatography.** Textilveredlung (1992), 27(2), 45-50.

GUARATINI, C. C. I.; ZANONI, M. V. **Corantes Têxteis.** Química Nova. v. 23, nº 1, 71 – 78, 2000.

HASSEMER, M. E. N.; SENS, M. L. **Tratamento do efluente de uma indústria têxtil. Processo físico-químico com ozônio e coagulação/floculação.** Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, vol.7, n°1, jan/mar, 2002 e n°2, abr/jun, 2002.

IRITA, K. *et al*. **Printers and recording sheets for thermal transfer recording.** Jpn. Kokai Tokkyo Koho (2007), 65pp.

JAIN, A. K. *et al.* **Utilization of industrial waste products as adsorbents for the removal of dyes.** Journal of Hazasdous Materials B 101: 31, 2003.

JEKEL, M. **Wastewater treatment in the textile industry**. In: Treatment of wastewaters from textile processing. Kolloquium an der TU Berlin, 17. bis 18. November, 1997.

KUNZ, A. *et al.* **Novas Tendências no Tratamento de Efluentes Têxteis**. Química Nova 25(1): 13, 2002.

LACERDA, J. P. **Estudo do impacto ambiental nos cursos d'água causado pelo lançamento de efluentes de indústrias do município de Itabirito/MG**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental. UFOP, 2004.

LEÃO, M. M. D. *et al*. **Controle Ambiental na Indústria Têxtil: Acabamento de Malhas**. 1 ed. Belo Horizonte: Projeto Minas Ambiente, 2002.

MACEDO, J. A. B. **Métodos Laboratoriais de Análises Físico-Químicas e Microbiológicas**. 3 ed. Belo Horizonte: 2005.

MACEDO, J. S. *et al.* **Kinetic and calorimetric study of the adsorption of dyes on mesoporous activated carbon prepared from coconut coir dust.** Journal of Colloid and Interface Science (2006), 298(2), 515-522.

MARTINS, M. A. *et al.* **Estudos da biodegradabilidade de corantes azo de aplicação têxtil por *Phanerochaete chrysosporium***. CONFERÊNCIA NACIONAL SOBRE A QUALIDADE DO AMBIENTE, 6, Lisboa, 1999 - "Actas da 6.ª Conferência Nacional sobre a Qualidade do Ambiente". Lisboa : Universidade Nova de Lisboa, 1999. vol. 3, p. 211-220.

MIRANDA, L. A. **Estudo e caracterização de xerogéis de sílica funcionalizados por processos físico-químicos**. Tese de Doutorado. Departamento de Química. UFMG, 2005.

MOORE, W. J. **Físico-Química**. 4 ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 1976.

NEUMANN, M. G. *et al*. **Interações entre corantes e argilas em suspensão aquosa**. Química Nova, 23 (6) (2000), p. 818-824.

ORTIZ, N. *et al*. **Estudo da estabilidade química da magnetita utilizada como adsorvedor na remoção de compostos orgânicos de soluções.** Cerâmica 49 (2003) 216-222.

OUYANG, A. *et al.* **Affinity chromatographic separation of secreted alkaline phosphatase and glucoamylase using reactive dyes.** Process Biochemistry (Amsterdam, Netherlands) (2007), 42(4), 561-569.

PEREIRA, M. F. R.; ÓRFÃO, J. J. M.; FIGUEIREDO, J. L. **Remoção da cor em efluentes da indústria têxtil por adsorção em carvões activados.** In: REINOSO, F. R. CYTED – Ciencia y Tecnologia para el desarrollo: adsorbentes en la solución de algunos problemas ambientales. 28015 Madrid, 2004.

PERUZZO, L. C. **Influência de agentes auxiliares na adsorção de corantes de efluentes da indústria têxtil em colunas de leito fixo.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Química. UFSC, 2003.

RABOCKAI, T. **Físico-Química de Superfícies**. Secretaria Geral da Organização dos Estados Americanos: Washington D.C., 1979.

REINOSO, F. R.; SABIO, M. M. **El carbón activado como adsorbente en descontaminacion ambiental**. In: REINOSO, F. R. CYTED – Ciencia y Tecnologia para el desarrollo: adsorbentes en la solución de algunos problemas ambientales. 28015 Madrid, 2004.

RUAN, W.; SONG, Y. **Disperse yellow brown dye composition for polyester and its blend fabrics.** Faming Zhuanli Shenqing Gongkai Shuomingshu (2007), 18pp.

SALES, P. T. F. *et al.* **Tratamento de corante dispersivo por processo fotocatalítico com TiO_2.** In: III Fórum de Estudos Contábeis. Faculdades Integradas Claretianas: Rio Claro – SP, 2003.

SANTOS, T. C. **Resíduos da fabricação da alumina: estudos geoquímicos e reciclagem.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais. UFOP, 1997.

SCHIAVO, D. A.; PEREZ, E. F.; KUBOTA, L. T. **Estudo eletroquímico do azul de metileno adsorvido sobre sílica gel quimicamente modificada com óxido de nióbio.** Química Nova, 23 (6) (2000), p. 832-834.

SCHNITZLER, E. *et al* . **Aplicação da calorimetria exploratória diferencial (DSC) na caracterização térmica do acetato de dexametazona, excipientes e do creme de dexametazona.** Eclética Química. vol. 26. São Paulo, 2002.

SHAW, D. J. **Introdução à Química dos Colóides e de Superfícies**. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 1975.

SHREVE, R. N.; JR, J. A. B. **Indústrias de Processos Químicos**. 4 ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan S. A., 1997.

SOARES, J. L. **Remoção de corantes têxteis por adsorção em carvão mineral ativado com alto teor de cinzas**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Química. UFSC, 1998.

TEIXEIRA, C. M. **A poluição das indústrias de Minas Gerais: criação de um banco de dados e estudo de alguns setores.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais. UFOP, 1998.

VOGEL, A. I. **Análise Química Quantitativa**. 6 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

YOSHIDA, M. I.; CARVALHO, C. F. **Processo de recuperação de alumina do pó do filtro eletrostático do processo Bayer para aplicação na cromatografia em camada fina e produtos afins**. Patente, INPI n° PI0200697-9, fev. 2002.

Anexo A – Dados experimentais para a construção das curvas analíticas dos corantes

Corante Amarelo de Drimarem – Curva Analítica: y = 0,01107 + 0,01559x

C (mg L^{-1})	A	C (a partir da curva analítica)
100	1,615	102,88
80	1,225	77,87
80	1,216	77,29
80	1,225	77,87
65	0,973	61,70
65	0,970	61,51
65	0,974	61,77
50	0,825	52,21
50	0,828	52,40
50	0,862	54,58
40	0,664	41,88
40	0,674	42,52
40	0,662	41,75
20	0,359	22,32
20	0,359	22,32
20	0,356	22,13
15	0,280	17,25
15	0,282	17,38
15	0,280	17,25
10	0,202	12,25
10	0,192	11,61
10	0,187	11,28
8	0,123	7,18
8	0,119	6,92
8	0,121	7,05
5	0,074	4,04
5	0,072	3,91
5	0,074	4,04
3	0,037	1,66
3	0,033	1,41
3	0,034	1,47
2	0,015	0,25
2	0,019	0,51
2	0,016	0,32
1	0,001	-
1	0,006	-
1	0,001	-

Corante Amarelo de Drimarem em pH = 7 – Curva Analítica: y = 0,00758 + 0,01568x

C (mg L^{-1})	A	C (a partir da curva analítica)
1	0,006	-
2	0,015	0,47
3	0,037	1,88
10	0,163	9,91
20	0,345	21,52
25	0,410	25,66
40	0,650	40,97
50	0,801	50,60
65	1,029	65,14
75	1,226	77,71
100	1,556	98,75
125	1,942	123,37

Corante Amarelo de Drimarem em pH = 4 – Curva Analítica: y = 0,05967 + 0,01448x

C (mg L^{-1})	A	C (a partir da curva analítica)
5	0,102	2,92
10	0,190	9,00
25	0,432	25,71
50	0,827	52,99
75	1,193	78,27
100	1,450	96,02

Corante Amarelo de Drimarem em pH = 10 – Curva Analítica: y = 0,06025 + 0,01404x

C (mg L^{-1})	A	C (a partir da curva analítica)
5	0,102	2,97
10	0,170	7,82
25	0,426	26,05
50	0,818	53,97
75	1,177	79,54
100	1,390	94,71

Corante Amarelo Dianix – Curva Analítica: y = -0,01101 + 0,02123x

C (mg L^{-1})	A	C (a partir da curva analítica)
5	0,085	4,52
10	0,188	9,37
20	0,423	20,44
20	0,422	20,40
20	0,423	20,44
25	0,517	24,87
30	0,624	29,91
40	0,865	41,26
50	1,024	48,75

Corante Amarelo Remazol – Curva Analítica: y = 0,00757 + 0,01136x

C (mg L^{-1})	A	C (a partir da curva analítica)
2	0,009	0,13
3	0,020	1,09
4	0,034	2,33
5	0,040	2,85
10	0,159	13,33
20	0,282	24,16
40	0,458	39,65
40	0,463	40,09
40	0,486	42,12
50	0,589	51,18
75	0,825	71,96

Corante Amarelo Remazol em pH = 7 – Curva Analítica: y = 0,0864 + 0,00956x

C (mg L^{-1})	A	C (a partir da curva analítica)
5	0,102	1,63
10	0,159	7,59
20	0,269	19,10
20	0,270	19,21
20	0,270	19,21
40	0,545	47,97
50	0,600	53,72
75	0,805	75,17
100	1,043	100,06
120	1,200	116,49

Corante Amarelo Remazol em pH = 4 – Curva Analítica: y = 0,05264+ 0,00948x

C (mg L^{-1})	A	C (a partir da curva analítica)
5	0,076	2,46
10	0,132	8,37
20	0,238	19,55
20	0,242	19,97
20	0,241	19,87
40	0,454	42,34
50	0,555	52,99
75	0,838	82,84
100	0,901	89,49
120	1,212	120,00

Corante Amarelo Remazol em pH = 10 – Curva Analítica: y = 0,07593+ 0,01022x

C (mg L^{-1})	A	C (a partir da curva analítica)
5	0,104	2,75
10	0,160	8,23
20	0,277	19,67
20	0,275	19,48
20	0,278	19,77
40	0,552	46,58
50	0,605	51,77
75	0,831	73,88
100	1,075	97,76

Corante Azul de Drimarem – Curva Analítica: y = 0,0716+ 0,01313x

C (mg L^{-1})	A	C (a partir da curva analítica)
65	0,935	65,76
65	0,919	64,54
65	0,918	64,46
50	0,720	49,38
50	0,714	48,93
50	0,716	49,08
40	0,608	40,85
40	0,609	40,93
40	0,596	39,94
30	0,467	30,11
30	0,476	30,80
30	0,477	30,86
25	0,406	25,47
25	0,412	25,93
25	0,400	25,01
15	0,266	14,81
15	0,276	15,57
15	0,266	14,81
10	0,190	9,02
10	0,193	9,25
10	0,193	9,25

Corante Azul de Drimarem (leituras no Fotômetro MERCK SQ 118)
Curva Analítica: y = - 0,00122+ 0,07543x

C (mg L^{-1})	A	C (a partir da curva analítica)
10	0,749	9,95
10	0,761	10,10
10	0,760	10,09
8	0,600	7,97
8	0,595	7,90
8	0,605	8,04
5	0,376	5,00
5	0,378	5,03
5	0,375	4,99
4	0,298	3,97
4	0,290	3,86
4	0,295	3,93
2	0,152	2,03
2	0,149	1,99
2	0,150	2,00
1	0,075	1,01
1	0,078	1,05
1	0,081	1,09

Corante Azul de Drimarem em pH = 7 – Curva Analítica: y = - 0,10666+ 0,01212x

C (mg L^{-1})	A	C (a partir da curva analítica)
65	0,881	63,89
50	0,723	50,85
40	0,606	41,20
25	0,409	24,95
20	0,338	19,09

Corante Azul de Drimarem em pH = 7 (leituras no Fotômetro MERCK SQ 118)
Curva Analítica: y = - 0,00323+ 0,07405x

C (mg L^{-1})	A	C (a partir da curva analítica)
10	0,741	10,05
8	0,588	7,98
5	0,361	4,92
3	0,217	2,97
2	0,147	2,03
1	0,074	1,04

Corante Azul de Drimarem em pH = 4 - Curva Analítica: y = 0,0945+ 0,01219x

C (mg L^{-1})	A	C (a partir da curva analítica)
65	0,881	64,52
50	0,713	50,74
40	0,581	39,91
25	0,405	25,47
20	0,331	19,40

Corante Azul de Drimarem em pH = 4 (leituras no Fotômetro MERCK SQ 118)
Curva Analítica: y = - 0,01408+ 0,06633x

C (mg L^{-1})	A	C (a partir da curva analítica)
10	0,702	10,37
8	0,502	7,36
5	0,364	5,28
3	0,215	3,03
2	0,147	2,00
1	0,078	0,96

Corante Azul de Drimarem em pH = 10 - Curva Analítica: y = - 0,07684+ 0,01257x

C (mg L^{-1})	A	C (a partir da curva analítica)
65	0,881	63,97
50	0,711	50,45
40	0,599	41,54
25	0,400	25,71
20	0,308	18,39

Corante Azul de Drimarem em pH = 10 (leituras no Fotômetro MERCK SQ 118)
Curva Analítica: y = 0,000384+ 0,07389x

C (mg L^{-1})	A	C (a partir da curva analítica)
10	0,739	10,00
8	0,595	8,05
5	0,362	4,89
3	0,227	3,07
2	0,147	1,98
1	0,075	1,01

Corante Azul Dianix – Curva Analítica: y = 0,00172+ 0,01504x

C (mg L^{-1})	A	C (a partir da curva analítica)
5	0,076	4,94
10	0,152	9,99
20	0,300	19,83
20	0,304	20,10
20	0,305	20,16
25	0,377	24,95
30	0,455	30,14
50	0,752	49,89
60	0,905	60,06

Corante Azul Dianix em pH = 7 – Curva Analítica: y = 0,0196+ 0,01416x

C (mg L^{-1})	A	C (a partir da curva analítica)
10	0,155	9,56
15	0,239	15,49
20	0,303	20,01
25	0,358	23,90
40	0,598	40,85
50	0,740	50,88
75	1,071	74,25

Corante Azul Dianix em pH = 10 – Curva Analítica: y = 0,02828+ 0,01389x

C (mg L^{-1})	A	C (a partir da curva analítica)
10	0,154	9,05
15	0,233	14,74
20	0,307	20,07
25	0,379	25,25
40	0,605	41,52
50	0,726	50,23
75	1,057	74,06

Corante Azul Dianix em pH = 4 – Curva Analítica: y = 0,03222+ 0,01358x

C (mg L^{-1})	A	C (a partir da curva analítica)
10	0,162	9,56
15	0,231	14,64
20	0,306	20,16
25	0,376	25,32
40	0,588	40,93
50	0,709	49,84
75	1,046	74,65

Corante Azul Procion – Curva Analítica: y = -0,00236+ 0,00483x

C (mg L^{-1})	A	C (a partir da curva analítica)
10	0,046	10,01
20	0,092	19,54
20	0,097	20,57
20	0,096	20,36
25	0,116	24,51
30	0,143	30,10
40	0,196	41,07
50	0,235	49,14
60	0,284	59,29
100	0,477	99,25
150	0,736	152,87
200	0,957	198,63

Corante Vermelho Dianix – Curva de Analítica: y = 0,05653+ 0,01265x

C (mg L^{-1})	A	C (a partir da curva analítica)
5	0,083	2,09
10	0,159	8,10
10	0,160	8,18
10	0,163	8,42
25	0,383	25,81
50	0,738	53,87
50	0,746	54,50
50	0,748	54,66
70	0,959	71,34
100	1,233	93,00

Corante Vermelho Dianix em pH = 7 – Curva Analítica: y = 0,02257+ 0,01496x

C (mg L^{-1})	A	C (a partir da curva analítica)
1	0,032	0,63
2	0,049	1,77
3	0,065	2,84
5	0,093	4,71
8	0,144	8,12
10	0,173	10,06
15	0,261	15,94
25	0,400	25,23
40	0,627	40,40
50	0,760	49,29

Corante Vermelho Dianix em pH = 10 – Curva Analítica: y = 0,03112+ 0,01499x

C (mg L^{-1})	A	C (a partir da curva analítica)
1	0,033	0,13
2	0,048	1,13
3	0,063	2,13
5	0,096	4,33
8	0,158	8,46
10	0,188	10,47
15	0,271	16,00
25	0,443	27,48
40	0,661	42,02
50	0,733	46,82

Corante Vermelho Dianix em pH = 4 – Curva Analítica: y = 0,02411+ 0,01551x

C (mg L^{-1})	A	C (a partir da curva analítica)
1	0,032	0,51
2	0,048	1,54
3	0,062	2,44
5	0,092	4,38
8	0,142	7,60
10	0,190	10,70
15	0,271	15,92
25	0,443	27,01
40	0,655	40,68
50	0,772	48,22

Anexo B – Dados experimentais dos ensaios para estabelecer o tempo de equilíbrio e massa de adsorvente

- **Corante Amarelo de Drimarem**

Ensaios com 0,50g de Alumina				
Amostra	**Tempo**	**A**	**C (mg L^{-1})**	**% remoção**
Branco	***	0,868	54,97	***
1	½ h	0,108	6,22	88,68
2	½ h	0,122	7,12	87,05
3	½ h	0,108	6,22	88,68
1	1 h	0,084	4,68	91,49
2	1 h	0,087	4,87	91,14
3	1 h	0,081	4,49	91,83
1	2 h	0,080	4,42	91,96
2	2 h	0,082	4,55	91,72
3	2 h	0,081	4,49	91,83
1	3 h	0,078	4,29	92,20
2	3 h	0,081	4,49	91,83
3	3 h	0,080	4,42	91,96

Ensaios com 0,25g de Alumina				
Amostra	**Tempo**	**A**	**C (mg L^{-1})**	**% remoção**
Branco	***	0,868	54,97	****
1	1h	0,193	11,67	78,77
2	1h	0,186	11,22	79,59
3	1h	0,195	11,80	78,53
1	2h	0,206	12,50	77,26
2	2h	0,185	11,16	79,70
3	2h	0,189	11,41	79,24

Ensaios com 1,0g de Alumina				
Amostra	**Tempo**	**A**	**C (mg L^{-1})**	**% remoção**
Branco	***	0,868	54,97	****
1	1h	0,096	5,45	90,09
2	1h	0,089	5,00	90,90
3	1h	0,090	5,06	90,79
1	2h	0,094	5,32	90,32
2	2h	0,090	5,06	90,79
3	2h	0,083	4,61	91,61

Ensaios com 1,0g de Carvão Ativado				
Amostra	**Tempo**	**A**	**C (mg L^{-1})**	**% remoção**
Branco	***	0,868	54,97	****
1	1h	0,790	49,96	9,11
2	1h	0,755	47,72	13,19
3	1h	0,740	46,76	14,94

Ensaios com 0,5g de Carvão Ativado				
Amostra	**Tempo**	**A**	**C (mg L^{-1})**	**% remoção**
Branco	***	0,868	54,97	****
1	1h	0,815	51,57	6,19
2	1h	0,815	51,57	6,19
3	1h	0,806	50,99	7,24

- **Corante Amarelo Dianix**

Ensaios com 0,50g de Alumina				
Amostra	**Tempo**	**A**	**C (mg L^{-1})**	**% remoção**
Branco	***	1,015	48,33	****
1	15 min	0,663	31,75	34,31
2	15 min	0,656	31,42	34,99
3	15 min	0,655	31,37	35,09
1	½ h	0,595	28,54	40,95
2	½ h	0,624	29,91	38,11
3	½ h	0,603	28,92	40,16
1	1 h	0,613	29,39	39,19
2	1 h	0,560	26,90	44,34
3	1 h	0,570	27,37	43,37
1	2 h	0,582	27,93	42,21
2	2 h	0,573	27,51	43,08
3	2 h	0,608	29,16	39,66
1	3 h	0,624	29,91	38,11
2	3 h	0,590	28,31	41,42
3	3 h	0,606	29,06	39,87

Ensaios com 0,25g de Alumina				
Amostra	**Tempo**	**A**	**C (mg L^{-1})**	**% remoção**
Branco	***	1,071	50,97	****
1	½ h	0,568	27,27	46,50
2	½ h	0,565	27,13	46,77
3	½ h	0,567	27,23	46,58
1	1 h	0,677	32,41	36,41
2	1 h	0,667	31,94	37,34
3	1 h	0,662	31,70	37,81
1	2 h	0,686	32,83	35,59
2	2 h	0,702	33,59	34,10
3	2 h	0,708	33,87	33,55
1	3 h	0,615	29,49	42,14
2	3 h	0,634	30,38	40,40
3	3 h	0,637	30,52	40,12

Ensaios com 1,0g de Alumina				
Amostra	**Tempo**	**A**	**C (mg L^{-1})**	**% remoção**
Branco	***	1,031	49,08	****
1	½ h	0,527	25,34	48,37
2	½ h	0,550	26,43	46,15
3	½ h	0,515	24,78	49,51

Ensaios com 1,0g de Alumina				
Amostra	**Tempo**	**A**	**C (mg L^{-1})**	**% remoção**
Branco	***	1,015	48,33	****
1	1h	0,682	32,64	32,46
2	1h	0,679	32,50	32,75
3	1h	0,664	31,80	34,20
1	2h	0,588	28,22	41,61
2	2h	0,602	28,87	40,26
3	2h	0,607	29,11	39,77
1	3h	0,645	30,90	36,06
2	3h	0,678	32,45	32,86
3	3h	0,660	31,61	34,60

Ensaios com 0,25g de Carvão Ativado				
Amostra	**Tempo**	**A**	**C (mg L^{-1})**	**% remoção**
Branco	***	1,071	50,97	****
1	½ h	0,652	31,23	38,73
2	½ h	0,680	32,55	36,14
3	½ h	0,659	31,56	38,08
1	1 h	0,731	34,95	31,43
2	1 h	0,730	34,90	31,53
3	1 h	0,714	34,15	33,00

Ensaios com 0,25g de Carvão Ativado				
Amostra	**Tempo**	**A**	**C (mg L^{-1})**	**% remoção**
Branco	***	1,059	50,40	****
1	2h	0,613	29,39	41,69
2	2h	0,596	28,59	43,27
3	2h	0,608	29,16	42,14
1	3h	0,722	34,53	31,49
2	3h	0,725	34,67	31,21
3	3h	0,735	35,14	30,28

Ensaios com 0,50g de Carvão Ativado				
Amostra	**Tempo**	**A**	**C (mg L^{-1})**	**% remoção**
Branco	***	1,031	49,08	****
1	½ h	0,634	30,38	38,10
2	½ h	0,645	30,90	37,04
3	½ h	0,648	31,04	36,76
1	1h	0,700	33,49	31,76
2	1h	0,704	33,68	31,38
3	1h	0,705	33,73	31,28
1	2h	0,592	28,40	42,14
2	2h	0,610	29,25	40,40
3	2h	0,607	29,11	40,69
1	3h	0,654	31,32	36,19
2	3h	0,676	32,36	34,07
3	3h	0,661	31,65	35,51

Ensaios com 1,0g de Carvão Ativado				
Amostra	**Tempo**	**A**	**C (mg L^{-1})**	**% remoção**
Branco	***	1,059	50,40	****
1	½ h	0,700	33,49	33,55
2	½ h	0,702	33,59	33,55
3	½ h	0,701	33,54	33,45
1	1h	0,688	32,93	34,66
2	1h	0,704	33,68	33,17
3	1h	0,693	33,16	34,21
1	2h	0,742	35,47	29,62
2	2h	0,716	34,24	32,06
3	2h	0,726	34,72	31,11
1	3h	0,715	34,20	32,14
2	3h	0,736	35,19	30,18
3	3h	0,736	35,19	30,18

- **Corante Amarelo Remazol**

Ensaios com 0,25g de Alumina				
Amostra	**Tempo**	**A**	**C (mg L^{-1})**	**% remoção**
Branco	***	0,585	50,83	***
1	½ h	0,074	5,85	88,53
2	½ h	0,078	6,20	87,80
3	½ h	0,074	5,85	88,49
1	1 h	0,065	5,06	90,05
2	1 h	0,056	4,26	91,62
3	1 h	0,060	4,62	90,91
1	2 h	0,059	4,53	91,09
2	2 h	0,062	4,79	90,58
3	2 h	0,056	4,26	91,62
1	3 h	0,047	3,47	93,17
2	3 h	0,044	3,21	93,68
3	3 h	0,042	3,03	94,04

Ensaios com 0,50g de Alumina				
Amostra	**Tempo**	**A**	**C (mg L^{-1})**	**% remoção**
Branco	***	0,585	50,83	***
1	½ h	0,054	4,09	91,95
2	½ h	0,055	4,18	91,78
3	½ h	0,058	4,44	91,27
1	1 h	0,035	2,41	95,26
2	1 h	0,035	2,41	95,26
3	1 h	0,038	2,68	94,73
1	2 h	0,034	2,33	95,42
2	2 h	0,038	2,68	94,73
3	2 h	0,037	2,59	94,90
1	3h	0,037	2,59	94,90
2	3h	0,032	2,15	95,77
3	3h	0,038	2,68	94,73

Ensaios com 1,0g de Alumina				
Amostra	**Tempo**	**A**	**C (mg L^{-1})**	**% remoção**
Branco	***	0,585	50,83	***
1	½ h	0,054	4,09	91,95
2	½ h	0,052	3,91	92,31
3	½ h	0,058	4,44	91,27
1	1 h	0,042	3,03	94,04
2	1 h	0,043	3,12	93,86
3	1 h	0,042	3,03	94,04
1	2 h	0,041	2,94	94,22
2	2 h	0,048	3,56	93,00
3	2 h	0,041	2,94	94,22
1	3h	0,049	3,65	92,82
2	3h	0,042	3,03	94,04
3	3h	0,042	3,03	94,04

Ensaios com 0,25g de Carvão Ativado				
Amostra	**Tempo**	**A**	**C (mg L^{-1})**	**% remoção**
Branco	***	0,567	49,25	***
1	½ h	0,531	46,08	6,44
2	½ h	0,543	47,13	4,30
3	½ h	0,543	47,13	4,30
1	1 h	0,515	44,67	9,30
2	1 h	0,504	43,70	11,27
3	1 h	0,511	44,32	10,01
1	2 h	0,530	45,99	6,62
2	2 h	0,533	46,25	6,09
3	2 h	0,528	45,81	6,98
1	3h	0,519	45,02	8,59
2	3h	0,515	44,67	9,30
3	3h	0,517	44,84	8,95

Ensaios com 0,50g de Carvão Ativado				
Amostra	**Tempo**	**A**	**C (mg L^{-1})**	**% remoção**
Branco	***	0,567	49,25	***
1	½ h	0,518	44,93	8,77
2	½ h	0,519	45,02	8,59
3	½ h	0,511	44,32	10,01
1	1 h	0,513	44,49	9,66
2	1 h	0,524	45,46	7,70
3	1 h	0,519	45,02	8,59
1	2 h	0,507	43,96	10,74
2	2 h	0,501	43,44	11,80
3	2 h	0,512	44,40	9,85
1	3h	0,498	43,17	12,35
2	3h	0,498	43,17	12,35
3	3h	0,491	42,56	13,58

Ensaios com 1,0g de Carvão Ativado				
Amostra	**Tempo**	**A**	**C (mg L^{-1})**	**% remoção**
Branco	***	0,567	49,25	***
1	½ h	0,483	41,85	15,03
2	½ h	0,505	43,79	11,09
3	½ h	0,493	42,73	13,24
1	1 h	0,495	42,91	12,87
2	1 h	0,498	43,17	12,35
3	1 h	0,506	43,88	10,90
1	2 h	0,462	40,00	18,78
2	2 h	0,483	41,85	15,03
3	2 h	0,476	41,24	16,26
1	3h	0,480	41,59	15,55
2	3h	0,492	42,64	13,42
3	3h	0,480	41,59	15,55

♦ **Corante Azul de Drimarem**

Ensaios com 0,50g de Alumina				
Amostra	**Tempo**	**A**	**C (mg L^{-1})**	**% remoção**
Branco	***	0,722	49,54	****
1	15 min	0,282	16,02	67,66
2	15 min	0,456	29,28	40,90
3	15 min	0,574	38,26	22,77
1	½ h	0,387	24,02	51,51
2	½ h	0,420	26,53	46,45
3	½ h	0,420	26,53	46,45
1	1 h	0,382	23,64	52,28
2	1 h	0,406	25,47	48,59
3	1 h	0,396	24,71	50,12
1	2 h	0,384	23,79	51,98
2	2 h	0,376	23,18	53,21
3	2 h	0,403	25,24	49,05
1	3 h	0,394	24,55	50,44
2	3 h	0,404	25,32	48,89
3	3 h	0,389	24,17	51,21

Ensaios com 0,25g de Alumina				
Amostra	**Tempo**	**A**	**C (mg L^{-1})**	**% remoção**
Branco	***	0,722	49,54	****
1	1h	0,411	25,85	47,82
2	1h	0,382	23,64	52,28
3	1h	0,382	23,64	52,28
1	2h	0,507	33,16	33,06
2	2h	0,530	34,91	29,53
3	2h	0,579	38,64	22,00

Ensaios com 1,0g de Alumina				
Amostra	**Tempo**	**A**	**C (mg L^{-1})**	**% remoção**
Branco	***	0,722	49,54	****
1	1h	0,501	32,70	33,99
2	1h	0,500	32,63	34,13
3	1h	0,493	32,09	35,22

Ensaios com 0,50g de Carvão Ativado				
Amostra	**Tempo**	**A**	**C (mg L^{-1})**	**% remoção**
Branco	***	0,731	50,22	****
1	½ h	0,729	50,07	0,30
2	½ h	0,715	49,00	2,43
3	½ h	0,703	48,09	4,24
1	1 h	0,598	40,09	20,17
2	1 h	0,702	48,01	4,40
3	1 h	0,707	48,39	3,64
1	2 h	0,523	34,38	31,54
2	2 h	0,734	50,45	****
3	2 h	0,727	49,92	0,60

Ensaios com 0,50g de Carvão Ativado				
Amostra	**Tempo**	**A**	**C (mg L^{-1})**	**% remoção**
Branco	***	0,721	49,46	****
1	4h	0,707	48,39	2,16
2	4h	0,673	45,80	7,40
3	4h	0,676	46,03	6,93
1	6h	0,680	46,34	6,31
2	6h	0,681	46,41	6,17
3	6h	0,663	45,04	8,94

Ensaios com 0,25g de Carvão Ativado				
Amostra	**Tempo**	**A**	**C (mg L^{-1})**	**% remoção**
Branco	***	0,731	50,22	****
1	1h	0,719	49,31	1,81
2	1h	0,708	48,47	3,48
3	1h	0,719	49,31	1,81

Ensaios com 1,0g de Carvão Ativado				
Amostra	**Tempo**	**A**	**C (mg L^{-1})**	**% remoção**
Branco	***	0,731	50,22	****
1	½ h	0,713	48,85	2,73
2	½ h	0,712	48,77	2,89
3	½ h	0,707	48,39	3,64
1	1h	0,553	36,66	27,00
2	1h	0,677	46,11	8,18
3	1h	0,719	49,31	1,81

Ensaios com 1,0g de Carvão Ativado				
Amostra	**Tempo**	**A**	**C (mg L^{-1})**	**% remoção**
Branco	***	0,721	49,46	****
1	4h	0,639	43,21	12,64
2	4h	0,632	42,68	13,71
3	4h	0,640	43,29	12,47
1	6h	0,670	45,58	7,84
2	6h	0,629	42,45	14,17
3	6h	0,634	42,83	13,40

♦ **Corante Azul Dianix**

Ensaios com 0,25g de Alumina				
Amostra	**Tempo**	**A**	**C (mg L^{-1})**	**% remoção**
Branco	***	0,761	50,48	***
1	15 min	0,560	37,12	26,47
2	15 min	0,553	36,65	27,40
3	15 min	0,567	37,59	25,53
1	½ h	0,577	38,25	24,23
2	½ h	0,565	37,45	25,81
3	½ h	0,552	36,59	27,52
1	1 h	0,568	37,65	25,42
2	1 h	0,554	36,72	27,26
3	1 h	0,554	36,72	27,26
1	2 h	0,617	40,91	18,96
2	2 h	0,604	40,05	20,66
3	2 h	0,618	40,98	18,82
1	3 h	0,571	37,85	25,02
2	3 h	0,567	37,59	25,53
3	3 h	0,551	36,52	27,65
1	6 h	0,576	38,18	24,37
2	6 h	0,561	37,19	26,33
3	6 h	0,581	38,52	23,69

Ensaios com 0,50g de Alumina				
Amostra	**Tempo**	**A**	**C (mg L^{-1})**	**% remoção**
Branco	***	0,771	51,15	***
1	15 min	0,581	38,52	24,69
2	15 min	0,608	40,31	21,19
3	15 min	0,584	38,72	24,30
1	½ h	0,590	39,11	23,54
2	½ h	0,584	38,72	24,30
3	½ h	0,589	39,05	23,66
1	1 h	0,581	38,52	24,69
2	1 h	0,578	38,32	25,08
3	1 h	0,575	38,12	25,47
1	2 h	0,587	38,91	23,93
2	2 h	0,591	39,18	23,40
3	2 h	0,583	38,65	24,22
1	3 h	0,587	38,91	23,93
2	3 h	0,590	39,11	23,54
3	3 h	0,591	39,18	23,40

Ensaios com 1,0g de Alumina				
Amostra	**Tempo**	**A**	**C (mg L^{-1})**	**% remoção**
Branco	***	0,749	49,69	***
1	15 min	0,503	33,33	32,92
2	15 min	0,475	31,47	36,67
3	15 min	0,481	31,87	35,86
1	½ h	0,483	32,00	35,60
2	½ h	0,460	30,47	38,68
3	½ h	0,480	31,80	36,00
1	1 h	0,472	31,27	37,07
2	1 h	0,470	31,14	37,33
3	1 h	0,468	31,00	37,61
1	2 h	0,462	30,60	38,42
2	2 h	0,456	30,20	39,22
3	2 h	0,454	30,07	39,48
1	3 h	0,436	28,88	41,88
2	3 h	0,445	29,47	40,69
3	3 h	0,446	29,54	40,55

Ensaios com 0,25g de Carvão Ativado				
Amostra	**Tempo**	**A**	**C (mg L^{-1})**	**% remoção**
Branco	***	0,745	49,42	***
1	15 min	0,629	41,71	15,60
2	15 min	0,629	41,71	15,60
3	15 min	0,630	41,77	15,48
1	½ h	0,603	39,98	19,10
2	½ h	0,601	39,85	19,36
3	½ h	0,607	40,24	18,58
1	1 h	0,586	38,85	21,39
2	1 h	0,588	38,98	21,13
3	1 h	0,584	38,72	21,65
1	2 h	0,612	40,58	17,89
2	2 h	0,612	40,58	17,89
3	2 h	0,606	40,18	18,70

Ensaios com 0,50g de Carvão Ativado				
Amostra	**Tempo**	**A**	**C (mg L^{-1})**	**% remoção**
Branco	***	0,745	49,42	***
1	15 min	0,596	39,51	20,05
2	15 min	0,602	39,91	19,24
3	15 min	0,605	40,11	18,84
1	½ h	0,621	41,18	16,67
2	½ h	0,627	41,57	15,88
3	½ h	0,628	41,64	15,74
1	1 h	0,596	39,51	20,05
2	1 h	0,613	40,64	17,77
3	1 h	0,597	39,58	19,91
1	2 h	0,613	40,64	17,77
2	2 h	0,620	41,11	16,82
3	2 h	0,620	41,11	16,82

Ensaios com 1,0g de Carvão Ativado				
Amostra	**Tempo**	**A**	**C (mg L^{-1})**	**% remoção**
Branco	***	0,745	49,42	***
1	15 min	0,622	41,24	16,55
2	15 min	0,626	41,51	16,01
3	15 min	0,624	41,38	16,27
1	½ h	0,588	38,98	21,13
2	½ h	0,582	38,58	21,93
3	½ h	0,575	38,12	22,87
1	1 h	0,618	40,98	17,08
2	1 h	0,607	40,24	18,58
3	1 h	0,615	40,78	17,48
1	2 h	0,612	40,58	17,89
2	2 h	0,598	39,65	19,77
3	2 h	0,605	40,11	18,84

- **Corante Azul Procion**

Ensaios com 0,25g de Alumina				
Amostra	**Tempo**	**A**	**C (mg L^{-1})**	**% remoção**
Branco	***	1,203	249,56	****
1	15 min	1,007	208,98	16,26
2	15 min	1,013	210,22	15,76
3	15 min	1,012	210,01	15,85
1	½ h	1,042	216,22	13,36
2	½ h	1,044	216,64	13,19
3	½ h	1,030	213,74	14,35
1	1 h	0,999	207,32	16,93
2	1 h	1,002	207,94	16,68
3	1 h	0,999	207,32	16,93

Ensaios com 0,25g de Alumina				
Amostra	**Tempo**	**A**	**C (mg L^{-1})**	**% remoção**
Branco	***	0,759	157,63	****
1	3h	0,350	72,95	53,72
2	3h	0,348	72,54	53,98
3	3h	0,363	75,64	52,01
1	4h	0,296	61,77	60,81
2	4h	0,300	62,60	60,29
3	4h	0,307	64,05	59,37

Ensaios com 0,50g de Alumina				
Amostra	**Tempo**	**A**	**C (mg L^{-1})**	**% remoção**
Branco	***	1,203	249,56	****
1	15 min	0,912	189,31	24,14
2	15 min	0,894	185,58	25,64
3	15 min	0,915	189,93	23,89
1	½ h	0,871	180,82	27,54
2	½ h	0,866	179,78	27,96
3	½ h	0,877	182,06	27,05
1	1 h	0,825	171,30	31,36
2	1 h	0,820	170,26	31,76
3	1 h	0,808	167,78	32,77
1	2h	0,647	134,44	46,13
2	2h	0,659	136,93	45,13
3	2h	0,642	133,41	46,54

Ensaios com 0,50g de Alumina				
Amostra	**Tempo**	**A**	**C (mg L^{-1})**	**% remoção**
Branco	***	0,759	157,63	****
1	3h	0,081	17,26	89,05
2	3h	0,083	17,67	88,79
3	3h	0,080	17,05	89,18
1	4h	0,072	15,40	90,23
2	4h	0,063	13,53	91,42
3	4h	0,084	17,88	88,66

Ensaios com 1,0g de Alumina				
Amostra	**Tempo**	**A**	**C (mg L^{-1})**	**% remoção**
Branco	***	1,203	249,56	****
1	15 min	0,747	155,15	37,83
2	15 min	0,647	134,44	46,13
3	15 min	0,650	135,06	45,88
1	½ h	0,645	134,03	46,29
2	½ h	0,646	134,24	46,21
3	½ h	0,641	133,20	46,63
1	1 h	0,363	75,64	69,69
2	1 h	0,380	79,16	68,28
3	1 h	0,303	63,22	74,67
1	2h	0,202	42,31	83,05
2	2h	0,209	43,76	82,47
3	2h	0,205	42,93	82,80

Ensaios com 1,0g de Alumina				
Amostra	**Tempo**	**A**	**C (mg L^{-1})**	**% remoção**
Branco	***	0,759	157,63	****
1	3h	0,033	7,32	95,36
2	3h	0,031	6,91	95,62
3	3h	0,034	7,53	95,22
1	4h	0,030	6,70	95,75
2	4h	0,039	8,56	94,57
3	4h	0,033	7,32	95,36

Ensaios com 0,25g de Carvão Ativado				
Amostra	**Tempo**	**A**	**C (mg L^{-1})**	**% remoção**
Branco	***	0,780	161,98	****
1	2h	0,756	157,01	3,07
2	2h	0,730	151,63	6,39
3	2h	0,742	154,11	4,86
1	3h	0,753	156,39	3,45
2	3h	0,735	152,66	5,75
3	3h	0,748	155,35	4,09

Ensaios com 0,50g de Carvão Ativado				
Amostra	**Tempo**	**A**	**C (mg L^{-1})**	**% remoção**
Branco	***	0,780	161,98	****
1	2h	0,757	157,22	2,94
2	2h	0,742	154,11	4,86
3	2h	0,731	151,83	6,27
1	3h	0,745	154,73	4,48
2	3h	0,748	155,35	4,09
3	3h	0,742	154,11	4,86

Ensaios com 1,0g de Carvão Ativado				
Amostra	**Tempo**	**A**	**C (mg L^{-1})**	**% remoção**
Branco	***	0,780	161,98	****
1	2h	0,748	155,35	4,09
2	2h	0,734	152,46	5,88
3	2h	0,751	155,98	3,70
1	3h	0,752	156,18	3,58
2	3h	0,756	157,01	3,07
3	3h	0,764	158,67	2,04

- **Corante Vermelho Dianix**

Ensaios com 0,50g de Alumina				
Amostra	**Tempo**	**A**	**C (mg L^{-1})**	**% remoção**
Branco	***	1,069	80,04	****
1	½ h	0,084	2,17	97,29
2	½ h	0,078	1,70	97,88
3	½ h	0,080	1,86	97,68
1	1 h	0,062	0,43	99,46
2	1 h	0,062	0,43	99,46
3	1 h	0,064	0,59	99,26
1	2 h	0,076	1,54	98,08
2	2 h	0,075	1,46	98,18
3	2 h	0,070	1,06	98,68
1	3 h	0,096	3,12	96,10
2	3 h	0,098	3,28	95,90
3	3 h	0,083	2,09	97,39

Ensaios com 0,25g de Alumina				
Amostra	**Tempo**	**A**	**C (mg L^{-1})**	**% remoção**
Branco	***	1,069	80,04	****
1	1h	0,154	7,71	90,37
2	1h	0,194	10,87	86,42
3	1h	0,184	10,08	87,41
1	2h	0,132	5,97	92,54
2	2h	0,122	5,18	93,53
3	2h	0,129	5,73	92,84

Ensaios com 1,0g de Alumina				
Amostra	**Tempo**	**A**	**C (mg L^{-1})**	**% remoção**
Branco	***	1,069	80,04	****
1	1h	0,071	1,14	98,58
2	1h	0,076	1,54	98,08
3	1h	0,072	1,22	98,48
1	2h	0,069	0,99	98,76
2	2h	0,067	0,83	98,96
3	2h	0,070	1,06	98,68

Ensaios com 0,50g de Carvão Ativado				
Amostra	**Tempo**	**A**	**C (mg L^{-1})**	**% remoção**
Branco	***	1,069	80,04	****
1	1h	0,781	57,27	28,45
2	1h	0,776	56,88	28,94
3	1h	0,786	57,67	27,95

Ensaios com 1,0g de Carvão Ativado				
Amostra	**Tempo**	**A**	**C (mg L^{-1})**	**% remoção**
Branco	***	1,069	80,04	****
1	1h	0,764	55,93	30,12
2	1h	0,777	56,95	28,85
3	1h	0,782	57,35	28,35

Anexo C – Dados experimentais dos ensaios de adsorção

- **Corante Amarelo de Drimarem em pH = 7**

Dados experimentais do corante Amarelo de Drimarem, em pH = 7, para a construção da isoterma de Langmuir.

Ci ($mg\ L^{-1}$)	A	Ceq ($mg\ L^{-1}$)	Ceq média ($mg\ L^{-1}$)	Qa ($mg\ L^{-1}$)	Qa média ($mg\ L^{-1}$)	Ceq méd./Qa méd.
40,97	0,013	0,35	0,43	40,62	40,54	0,01
	0,013	0,35		40,62		
	0,017	0,60		40,37		
50,60	0,048	2,58	3,96	48,02	46,64	0,08
	0,085	4,94		45,66		
	0,076	4,36		46,24		
75,00	0,059	3,28	2,66	71,72	72,34	0,04
	0,047	2,51		72,49		
	0,042	2,20		72,80		
100,00	0,336	20,95	22,16	79,05	77,84	0,28
	0,379	23,69		76,31		
	0,350	21,84		78,16		
125,00	0,624	39,31	39,33	85,69	85,67	0,46
	0,619	38,99		86,01		
	0,630	39,70		85,30		
150,00	0,961	60,80	59,74	89,20	90,26	0,66
	0,940	59,47		90,53		
	0,932	58,96		91,04		

Linearização dos dados experimentais do corante Amarelo de Drimarem, em pH = 7.

Ci ($mg\ L^{-1}$)	Ceq ($mg\ L^{-1}$)	M adsorvida (mg)	Qe ($mg\ g^{-1}$)	Qe méd. ($mg\ g^{-1}$)	Ceq méd. ($mg\ L^{-1}$)	Ceq méd/Qe méd. ($g\ L^{-1}$)
40,97	0,35	2,03	4,06	4,05	0,43	0,11
	0,35	2,03	4,06			
	0,60	2,02	4,04			
50,60	2,58	2,40	4,80	4,66	3,96	0,85
	4,94	2,28	4,56			
	4,36	2,31	4,62			
75,00	3,28	3,59	7,18	7,23	2,66	0,37
	2,51	3,62	7,24			
	2,20	3,64	7,28			
100,00	20,95	3,95	7,90	7,79	22,16	2,84
	23,69	3,82	7,64			
	21,84	3,91	7,82			
125,00	39,31	4,28	8,56	8,57	39,33	4,59
	38,99	4,30	8,60			
	39,70	4,27	8,54			
150,00	60,80	4,46	8,92	9,03	59,74	6,62
	59,47	4,53	9,06			
	58,96	4,55	9,10			

Dados experimentais do corante Amarelo de Drimarem, em pH = 7, para a construção da isoterma de Freundlich.

Ceq méd. ($mg\ L^{-1}$)	ln Ceq méd.	Qe méd. ($mg\ g^{-1}$)	ln Qe méd.
0,43	-0,84	4,05	1,40
3,96	1,38	4,66	1,54
2,66	0,98	7,23	1,98
22,16	3,10	7,79	2,05
39,33	3,67	8,57	2,15
59,74	4,09	9,03	2,20

- **Corante Amarelo de Drimarem em pH = 4**

Dados experimentais do corante Amarelo de Drimarem, em pH = 4, para a construção da isoterma de Langmuir.

Ci ($mg\ L^{-1}$)	**A**	**Ceq ($mg\ L^{-1}$)**	**Ceq média ($mg\ L^{-1}$)**	**Qa ($mg\ L^{-1}$)**	**Qa média ($mg\ L^{-1}$)**	**Ceq méd./Qa méd.**
75,00	0,262	13,97	14,43	61,03	60,57	0,24
	0,273	14,73		60,27		
	0,271	14,59		60,41		
100,00	0,494	30,00	28,11	70,00	71,89	0,39
	0,450	26,96		73,04		
	0,456	27,37		72,63		
125,00	0,777	49,54	45,88	75,46	79,12	0,58
	0,745	47,33		77,67		
	0,650	40,77		84,23		
150,00	0,998	64,80	66,25	85,20	83,75	0,79
	1062	69,22		80,78		
	0,997	64,73		85,27		
175,00	1,301	85,73	86,46	89,27	88,54	0,98
	1,337	88,21		86,79		
	1,297	85,45		89,55		
200,00	1,485	98,43	95,62	101,57	104,38	0,92
	1,433	94,84		105,16		
	1,415	93,60		106,40		

Linearização dos dados experimentais do corante Amarelo de Drimarem, em pH = 4.

Ci (mg L^{-1})	Ceq (mg L^{-1})	M adsorvida (mg)	Qe (mg g^{-1})	Qe méd. (mg g^{-1})	Ceq méd. (mg L^{-1})	Ceq méd/Qe méd. (g L^{-1})
75,00	13,97	3,05	6,10	6,05	14,43	2,39
	14,73	3,01	6,02			
	14,59	3,02	6,04			
100,00	30,00	3,50	7,00	7,19	28,11	3,91
	26,96	3,65	7,30			
	27,37	3,63	7,26			
125,00	49,54	3,77	7,54	7,91	45,88	5,80
	47,33	3,88	7,76			
	40,77	4,21	8,42			
150,00	64,80	4,26	8,52	8,37	66,25	7,92
	69,22	4,04	8,08			
	64,73	4,26	8,52			
175,00	85,73	4,46	8,92	8,85	86,46	9,77
	88,21	4,34	9,68			
	85,45	4,48	8,96			
200,00	98,43	5,08	10,16	10,44	95,62	9,16
	94,84	5,26	10,52			
	93,60	5,32	10,64			

Dados experimentais do corante Amarelo de Drimarem, em pH = 4, para a construção da isoterma de Freundlich.

Ceq méd. (mg L^{-1})	ln Ceq méd.	Qe méd. (mg g^{-1})	ln Qe méd.
14,43	2,67	6,05	1,80
28,11	3,34	7,19	1,97
45,88	3,83	7,91	2,07
66,25	4,19	8,37	2,12
86,46	4,46	8,85	2,18
95,62	4,56	10,44	2,35

- **Corante Amarelo de Drimarem em pH = 10**

Dados experimentais do corante Amarelo de Drimarem, em pH = 10, para a construção da isoterma de Langmuir.

Ci ($mg\ L^{-1}$)	**A**	**Ceq ($mg\ L^{-1}$)**	**Ceq média ($mg\ L^{-1}$)**	**Qa ($mg\ L^{-1}$)**	**Qa média ($mg\ L^{-1}$)**	**Ceq méd./Qa méd.**
75,00	0,246	13,23	13,09	61,77	61,91	0,21
	0,234	12,38		62,62		
	0,252	13,66		61,34		
100,00	0,486	30,32	28,11	69,68	71,89	0,39
	0,443	27,26		72,74		
	0,436	26,76		73,24		
125,00	0,639	41,22	43,36	83,78	81,64	0,53
	0,667	43,22		81,78		
	0,701	45,64		79,36		
150,00	0,938	62,52	62,47	87,48	87,53	0,71
	0,979	65,44		84,56		
	0,895	59,46		90,54		
175,00	1,195	80,82	79,04	94,18	95,96	0,82
	1,123	75,69		99,31		
	1,192	80,61		94,39		
200,00	1,398	95,28	94,33	104,72	105,67	0,89
	1,357	92,36		107,64		
	1,399	95,35		104,65		

Linearização dos dados experimentais do corante Amarelo de Drimarem, em pH = 10.

Ci ($mg\ L^{-1}$)	Ceq ($mg\ L^{-1}$)	M adsorvida (mg)	Qe ($mg\ g^{-1}$)	Qe méd. ($mg\ g^{-1}$)	Ceq méd. ($mg\ L^{-1}$)	Ceq méd/Qe méd. ($g\ L^{-1}$)
75,00	13,23	3,09	6,18	6,19	13,09	2,11
	12,38	3,13	6,26			
	13,66	3,07	6,14			
100,00	30,32	3,48	6,96	7,19	28,11	3,91
	27,26	3,64	7,28			
	26,76	3,66	7,32			
125,00	41,22	4,19	8,38	8,17	43,36	5,31
	43,22	4,09	8,18			
	45,64	3,97	7,94			
150,00	62,52	4,37	8,74	8,75	62,47	7,14
	65,44	4,23	8,46			
	59,46	4,53	9,06			
175,00	80,82	4,71	9,42	9,60	79,04	8,23
	75,69	4,97	9,94			
	80,61	4,72	9,44			
200,00	95,28	5,24	10,48	10,57	94,33	8,92
	92,36	5,38	10,76			
	95,35	5,23	10,46			

Dados experimentais do corante Amarelo de Drimarem, em pH = 10, para a construção da isoterma de Freundlich.

Ceq méd. ($mg\ L^{-1}$)	ln Ceq méd.	Qe méd. ($mg\ g^{-1}$)	ln Qe méd.
13,09	2,57	6,19	1,82
28,11	3,34	7,19	1,97
43,36	3,77	8,17	2,10
62,47	4,13	8,75	2,17
79,04	4,37	9,60	2,26
94,33	4,55	10,57	2,36

- **Corante Amarelo Remazol em pH = 7**

Dados experimentais do corante Amarelo Remazol, em pH = 7, para a construção da isoterma de Langmuir.

Ci ($mg\ L^{-1}$)	A	Ceq ($mg\ L^{-1}$)	Ceq média ($mg\ L^{-1}$)	Qa ($mg\ L^{-1}$)	Qa média ($mg\ L^{-1}$)	Ceq méd./Qa méd.
100,06	0,106	2,05	2,68	98,01	97,38	0,03
	0,102	1,63		98,43		
	0,128	4,35		95,71		
120,00	0,204	12,30	9,89	107,70	110,11	0,09
	0,167	8,43		111,57		
	0,172	8,95		111,05		
150,00	0,334	25,90	26,14	124,10	123,86	0,21
	0,336	26,11		123,89		
	0,339	26,42		123,58		
170,00	0,484	41,59	42,46	128,41	127,54	0,33
	0,478	40,96		129,04		
	0,515	44,83		125,17		
200,00	0,663	60,31	60,59	139,69	139,41	0,43
	0,666	60,63		139,37		
	0,668	60,84		139,16		

Linearização dos dados experimentais do corante Amarelo Remazol, em pH = 7.

Ci ($mg\ L^{-1}$)	Ceq ($mg\ L^{-1}$)	M adsorvida (mg)	Qe ($mg\ g^{-1}$)	Qe méd. ($mg\ g^{-1}$)	Ceq méd. ($mg\ L^{-1}$)	Ceq méd/Qe méd. ($g\ L^{-1}$)
100,06	2,05	4,90	9,80	9,74	2,68	0,28
	1,63	4,92	9,84			
	4,35	4,79	9,58			
120,00	12,30	5,39	10,78	11,01	9,89	0,90
	8,43	5,58	11,16			
	8,95	5,55	11,10			
150,00	25,90	6,21	12,42	12,39	26,14	2,11
	26,11	6,19	12,38			
	26,42	6,18	12,36			
170,00	41,59	6,42	12,84	12,75	42,46	3,33
	40,96	6,45	12,90			
	44,83	6,26	12,52			
200,00	60,31	6,98	13,96	13,94	60,59	4,35
	60,63	6,97	13,94			
	60,84	6,96	13,92			

Dados experimentais do corante Amarelo Remazol, em pH = 7, para a construção da isoterma de Freundlich.

Ceq méd. (mg L^{-1})	ln Ceq méd.	Qe méd. (mg g^{-1})	ln Qe méd.
2,68	0,99	9,74	2,28
9,89	2,29	11,01	2,40
26,14	3,26	12,39	2,52
42,46	3,75	12,75	2,55
60,59	4,10	13,94	2,63

- **Corante Amarelo Remazol em pH = 4**

Dados experimentais do corante Amarelo Remazol, em pH = 4, para a construção da isoterma de Langmuir.

Ci (mg L^{-1})	A	Ceq (mg L^{-1})	Ceq média (mg L^{-1})	Qa (mg L^{-1})	Qa média (mg L^{-1})	Ceq méd./Qa méd.
82,84	0,099	4,89	5,07	77,95	77,77	0,07
	0,101	5,10		77,74		
	0,102	5,21		77,63		
89,49	0,114	6,47	6,58	83,02	82,91	0,08
	0,120	7,11		82,38		
	0,111	6,16		83,33		
120,00	0,204	15,97	15,76	104,03	104,24	0,15
	0,202	15,76		104,24		
	0,200	15,54		104,46		
150,00	0,325	28,73	29,93	121,27	120,07	0,25
	0,341	30,42		119,58		
	0,343	30,63		119,37		
170,00	0,457	42,65	42,65	127,35	127,35	0,33
	0,454	42,34		127,66		
	0,460	42,97		127,03		
200,00	0,651	63,12	63,33	136,88	136,67	0,46
	0,655	63,54		136,46		
	0,653	63,33		136,67		

Linearização dos dados experimentais do corante Amarelo Remazol, em pH = 4.

Ci (mg L^{-1})	Ceq (mg L^{-1})	M adsorvida (mg)	Qe (mg g^{-1})	Qe méd. (mg g^{-1})	Ceq méd. (mg L^{-1})	Ceq méd/Qe méd. (g L^{-1})
82,84	4,89	3,90	7,80	7,78	5,07	0,65
	5,10	3,89	7,78			
	5,21	3,88	7,76			
89,49	6,47	4,15	8,30	8,29	6,58	0,79
	7,11	4,12	8,24			
	6,16	4,17	8,34			
120,00	15,97	5,20	10,40	10,42	15,76	1,51
	15,76	5,21	10,42			
	15,54	5,22	10,44			
150,00	28,73	6,06	12,12	12,01	29,93	2,49
	30,42	5,98	11,96			
	30,63	5,97	11,94			
170,00	42,65	6,37	12,74	12,73	42,65	3,35
	42,34	6,38	12,76			
	42,97	6,35	12,70			
200,00	63,12	6,84	13,68	13,66	63,33	4,64
	63,54	6,82	13,64			
	63,33	6,83	13,66			

Dados experimentais do corante Amarelo de Drimarem, em pH = 4, para a construção da isoterma de Freundlich.

Ceq méd. (mg L^{-1})	ln Ceq méd.	Qe méd. (mg g^{-1})	ln Qe méd.
5,07	1,62	7,78	2,05
6,58	1,88	8,29	2,12
15,76	2,76	10,42	2,34
29,93	3,40	12,01	2,49
42,65	3,75	12,73	2,54
63,33	4,15	13,66	2,61

- **Corante Amarelo Remazol em pH = 10**

Dados experimentais do corante Amarelo Remazol, em pH = 10, para a construção da isoterma de Langmuir.

Ci ($mg\ L^{-1}$)	A	Ceq ($mg\ L^{-1}$)	Ceq média ($mg\ L^{-1}$)	Qa ($mg\ L^{-1}$)	Qa média ($mg\ L^{-1}$)	Ceq méd./Qa méd.
73,88	0,113	3,63	3,99	70,25	69,89	0,06
	0,115	3,82		70,06		
	0,122	4,51		69,37		
97,76	0,196	11,75	13,70	86,01	84,06	0,16
	0,245	16,54		81,22		
	0,207	12,82		84,94		
120,00	0,335	25,35	25,71	94,65	94,29	0,27
	0,340	25,84		94,16		
	0,341	25,94		94,06		
150,00	0,501	41,59	40,87	108,41	109,13	0,37
	0,505	41,98		108,02		
	0,475	39,05		110,95		
170,00	0,614	52,65	53,10	117,35	116,90	0,45
	0,626	53,82		116,18		
	0,616	52,84		117,16		
200,00	0,890	79,65	80,01	120,35	119,99	0,67
	0,899	80,54		119,46		
	0,892	79,85		120,15		

Linearização dos dados experimentais do corante Amarelo Remazol, em pH = 10.

Ci (mg L^{-1})	Ceq (mg L^{-1})	M adsorvida (mg)	Qe (mg g^{-1})	Qe méd. (mg g^{-1})	Ceq méd. (mg L^{-1})	Ceq méd/Qe méd. (g L^{-1})
73,88	3,63	3,51	7,02	6,99	3,99	0,57
	3,82	3,50	7,00			
	4,51	3,47	6,94			
97,76	11,75	4,30	8,60	8,41	13,70	1,63
	16,54	4,06	8,12			
	12,82	4,25	8,50			
120,00	25,35	4,73	9,46	9,43	25,71	2,73
	25,84	4,71	9,42			
	25,94	4,70	9,40			
150,00	41,59	5,42	10,84	10,91	40,87	3,75
	41,98	5,40	10,80			
	39,05	5,55	11,10			
170,00	52,65	5,87	11,74	11,69	53,10	4,54
	53,82	5,81	11,62			
	52,84	5,86	11,72			
200,00	79,65	6,02	12,04	12,00	80,01	6,67
	80,54	5,97	11,94			
	79,85	6,01	12,02			

Dados experimentais do corante Amarelo Remazol, em pH = 10, para a construção da isoterma de Freundlich.

Ceq méd. (mg L^{-1})	ln Ceq méd.	Qe méd. (mg g^{-1})	ln Qe méd.
3,99	1,38	6,99	1,94
13,70	2,62	8,41	2,13
25,71	3,25	9,43	2,24
40,87	3,71	10,91	2,39
53,10	3,97	11,69	2,46
80,01	4,38	12,00	2,48

- **Corante Azul de Drimarem em pH = 7**

Dados experimentais do corante Azul de Drimarem, em pH = 7, para a construção da isoterma de Langmuir.

Ci ($mg\ L^{-1}$)	A	Ceq ($mg\ L^{-1}$)	Ceq média ($mg\ L^{-1}$)	Qa ($mg\ L^{-1}$)	Qa média ($mg\ L^{-1}$)	Ceq méd./Qa méd.
63,89	0,546	36,25	34,79	27,64	29,10	1,20
	0,526	34,60		29,29		
	0,513	33,53		30,36		
50,85	0,491	31,71	27,89	19,14	22,96	1,21
	0,420	25,85		25,00		
	0,423	26,10		24,75		
41,20	0,357	20,66	21,04	20,54	20,16	1,04
	0,362	21,07		20,13		
	0,366	21,40		19,80		
24,95	0,284	14,63	11,39	10,32	13,56	0,84
	0,226	9,85		15,10		
	0,224	9,68		15,27		
19,09	0,213	8,77	9,18	10,32	9,91	0,93
	0,220	9,35		9,74		
	0,221	9,43		9,66		
10,05	0,428	5,82	5,89	4,23	4,16	1,42
	0,438	5,96		1,09		
	0,433	5,89		4,16		
7,98	0,327	4,46	4,57	3,52	3,41	1,34
	0,343	4,68		3,30		
	0,335	4,57		3,41		
4,92	0,253	3,46	3,50	1,46	1,42	2,46
	0,245	3,35		1,57		
	0,271	3,70		1,22		

Linearização dos dados experimentais do corante Azul de Drimarem, em pH = 7.

Ci ($mg\ L^{-1}$)	Ceq ($mg\ L^{-1}$)	M adsorvida (mg)	Qe ($mg\ g^{-1}$)	Qe méd. ($mg\ g^{-1}$)	Ceq méd. ($mg\ L^{-1}$)	Ceq méd/Qe méd. ($g\ L^{-1}$)
63,89	36,25	1,38	2,76	2,91	34,79	11,96
	34,60	1,46	2,92			
	33,53	1,52	3,04			
50,85	31,71	0,96	1,92	2,30	27,89	12,13
	25,85	1,25	2,50			
	26,10	1,24	2,48			
41,20	20,66	1,03	2,06	2,02	21,04	10,42
	21,07	1,01	2,02			
	21,40	0,99	1,98			
24,95	14,63	0,52	1,04	1,36	11,39	8,38
	9,85	0,76	1,52			
	9,68	0,76	1,52			
19,09	8,77	0,52	1,04	0,99	9,18	9,27
	9,35	0,49	0,98			
	9,43	0,48	0,96			
10,05	5,82	0,21	0,42	0,41	5,89	14,37
	5,96	0,20	0,40			
	5,89	0,21	0,42			
7,98	4,46	0,18	0,36	0,35	4,57	13,06
	4,68	0,17	0,34			
	4,57	0,17	0,34			
4,92	3,46	0,07	0,14	0,14	3,50	25,00
	3,35	0,08	0,16			
	3,70	0,06	0,12			

Dados experimentais do corante Azul de Drimarem, em pH = 7, para a construção da isoterma de Freundlich.

Ceq méd. ($mg\ L^{-1}$)	ln Ceq méd.	Qe méd. ($mg\ g^{-1}$)	ln Qe méd.
34,79	3,55	2,91	1,07
27,89	3,33	2,30	0,83
21,04	3,05	2,02	0,70
11,39	2,43	1,36	0,31
9,18	2,22	0,99	-0,01
5,89	1,77	0,41	-0,89
4,57	1,52	0,35	-1,05
3,50	1,25	0,14	-1,97

- **Corante Azul de Drimarem em pH = 4**

Dados experimentais do corante Azul de Drimarem, em pH = 4, para a construção da isoterma de Langmuir.

Ci ($mg\ L^{-1}$)	A	Ceq ($mg\ L^{-1}$)	Ceq média ($mg\ L^{-1}$)	Qa ($mg\ L^{-1}$)	Qa média ($mg\ L^{-1}$)	Ceq méd./Qa méd.
64,52	0,528	35,56	34,36	28,96	30,16	1,14
	0,509	34,00		30,52		
	0,503	33,51		31,01		
50,74	0,397	24,82	24,22	25,92	26,52	0,91
	0,379	23,34		27,40		
	0,393	24,49		26,25		
39,91	0,326	18,99	19,07	20,92	20,84	0,92
	0,327	19,07		20,84		
	0,328	19,16		20,75		
25,47	0,241	12,02	11,69	13,45	13,78	0,85
	0,229	11,03		14,44		
	0,241	12,02		13,45		
19,40	0,185	7,42	7,56	11,98	11,84	0,64
	0,193	8,08		11,32		
	0,182	7,18		12,22		
10,37	0,173	2,40	1,62	7,97	8,75	0,19
	0,111	1,46		8,91		
	0,081	1,01		9,36		

Linearização dos dados experimentais do corante Azul de Drimarem, em pH = 4.

Ci ($mg\ L^{-1}$)	Ceq ($mg\ L^{-1}$)	M adsorvida (mg)	Qe ($mg\ g^{-1}$)	Qe méd. ($mg\ g^{-1}$)	Ceq méd. ($mg\ L^{-1}$)	Ceq méd/Qe méd. ($g\ L^{-1}$)
64,52	35,56	1,45	2,90	3,02	34,36	11,38
	34,00	1,53	3,06			
	33,51	1,55	3,10			
50,74	24,82	1,30	2,60	2,65	24,22	9,14
	23,34	1,37	2,74			
	24,49	1,31	2,62			
39,91	18,99	1,05	2,10	2,09	19,07	9,12
	19,07	1,04	2,08			
	19,16	1,04	2,08			
25,47	12,02	0,67	1,34	1,37	11,69	8,53
	11,03	0,72	1,44			
	12,02	0,67	1,34			
19,40	7,42	0,60	1,20	1,19	7,56	6,35
	8,08	0,57	1,14			
	7,18	0,61	1,22			
10,37	2,40	0,40	0,80	0,88	1,62	1,84
	1,46	0,45	0,90			
	1,01	0,47	0,94			

Dados experimentais do corante Azul de Drimarem, em pH = 4, para a construção da isoterma de Freundlich.

Ceq méd. (mg L^{-1})	ln Ceq méd.	Qe méd. (mg g^{-1})	ln Qe méd.
34,36	3,54	3,02	1,11
24,22	3,19	2,65	0,97
19,07	2,95	2,09	0,74
11,69	2,46	1,37	0,31
7,56	2,02	1,19	0,17
1,62	0,48	0,88	-0,13

- **Corante Azul de Drimarem em pH = 10**

Dados experimentais do corante Azul de Drimarem, em pH = 10, para a construção da isoterma de Langmuir.

Ci (mg L^{-1})	A	Ceq (mg L^{-1})	Ceq média (mg L^{-1})	Qa (mg L^{-1})	Qa média (mg L^{-1})	Ceq méd./Qa méd.
63,97	0,576	39,71	43,40	24,26	20,57	2,11
	0,675	47,59		16,38		
	0,616	42,89		21,08		
50,45	0,495	33,27	33,00	17,18	17,45	1,89
	0,480	32,07		18,38		
	0,500	33,66		16,79		
41,54	0,338	20,78	22,93	20,76	18,61	1,23
	0,397	25,47		16,07		
	0,360	22,53		19,01		
25,71	0,296	17,44	15,42	8,27	10,29	1,50
	0,257	14,33		11,38		
	0,259	14,49		11,22		
18,39	0,163	6,85	6,19	11,54	12,20	0,51
	0,166	7,09		11,30		
	0,135	4,63		13,76		
10,00	0,426	5,76	6,06	4,24	3,94	1,54
	0,423	5,72		4,28		
	0,495	6,69		3,31		
8,05	0,334	4,52	4,48	3,53	3,57	1,25
	0,333	4,50		3,55		
	0,327	4,42		3,63		

Linearização dos dados experimentais do corante Azul de Drimarem, em pH = 10.

Ci ($mg\ L^{-1}$)	Ceq ($mg\ L^{-1}$)	M adsorvida (mg)	Qe ($mg\ g^{-1}$)	Qe méd. ($mg\ g^{-1}$)	Ceq méd. ($mg\ L^{-1}$)	Ceq méd/Qe méd. ($g\ L^{-1}$)
63,97	39,71	1,21	2,42	2,05	43,40	21,17
	47,59	0,82	1,64			
	42,89	1,05	2,10			
50,45	33,27	0,86	1,72	1,75	33,00	18,86
	32,07	0,92	1,84			
	33,66	0,84	1,68			
41,54	20,78	1,04	2,08	1,86	22,93	12,33
	25,47	0,80	1,60			
	22,53	0,95	1,90			
25,71	17,44	0,41	0,82	1,03	15,42	14,97
	14,33	0,57	1,14			
	14,49	0,56	1,12			
18,39	6,85	0,58	1,16	1,23	6,19	5,03
	7,09	0,57	1,14			
	4,63	0,69	1,38			
10,00	5,76	0,21	0,42	0,39	6,06	15,54
	5,72	0,21	0,42			
	6,69	0,17	0,34			
8,05	4,52	0,18	0,36	0,36	4,48	12,44
	4,50	0,18	0,36			
	4,42	0,18	0,36			

Dados experimentais do corante Azul de Drimarem, em pH = 10, para a construção da isoterma de Freundlich.

Ceq méd. ($mg\ L^{-1}$)	ln Ceq méd.	Qe méd. ($mg\ g^{-1}$)	ln Qe méd.
43,40	3,77	2,05	0,72
33,00	3,50	1,75	0,56
22,93	3,13	1,86	0,62
15,42	2,74	1,03	0,03
6,19	1,82	1,23	0,21
6,06	1,80	0,39	-0,94
4,48	1,50	0,36	-1,02

- **Corante Azul Dianix em pH = 7**

Dados experimentais do corante Azul Dianix, em pH = 7, para a construção da isoterma de Langmuir.

Ci ($mg\ L^{-1}$)	A	Ceq ($mg\ L^{-1}$)	Ceq média ($mg\ L^{-1}$)	Qa ($mg\ L^{-1}$)	Qa média ($mg\ L^{-1}$)	Ceq méd./Qa méd.
9,56	0,132	7,94	8,03	1,62	1,53	5,25
	0,134	8,08		1,48		
	0,134	8,08		1,48		
15,49	0,196	12,46	12,39	3,03	3,10	4,00
	0,196	12,46		3,03		
	0,193	12,25		3,24		
20,01	0,235	15,21	15,12	4,80	4,89	3,09
	0,235	15,21		4,80		
	0,231	14,93		5,08		
23,90	0,295	19,45	19,17	4,45	4,73	4,05
	0,295	19,45		4,45		
	0,283	18,60		5,30		
40,85	0,452	30,54	31,20	10,31	9,65	3,23
	0,466	31,53		9,32		
	0,466	31,53		9,32		
50,88	0,559	38,09	38,99	12,79	11,89	3,28
	0,576	39,29		11,59		
	0,580	39,58		11,30		
74,25	0,851	58,71	58,27	15,54	15,98	3,65
	0,841	58,01		16,24		
	0,842	58,08		16,17		

Linearização dos dados experimentais do corante Azul Dianix, em pH = 7.

Ci ($mg\ L^{-1}$)	Ceq ($mg\ L^{-1}$)	M adsorvida (mg)	Qe ($mg\ g^{-1}$)	Qe méd. ($mg\ g^{-1}$)	Ceq méd. ($mg\ L^{-1}$)	Ceq méd/Qe méd. ($g\ L^{-1}$)
9,56	7,94	0,08	0,16	0,15	8,03	53,53
	8,08	0,07	0,14			
	8,08	0,07	0,14			
15,49	12,46	0,15	0,30	0,31	12,39	39,97
	12,46	0,15	0,30			
	12,25	0,16	0,32			
20,01	15,21	0,24	0,48	0,49	15,12	30,86
	15,21	0,24	0,48			
	14,93	0,25	0,50			
23,90	19,45	0,22	0,44	0,47	19,17	40,79
	19,45	0,22	0,44			
	18,60	0,27	0,54			
40,85	30,54	0,52	1,04	0,97	31,20	32,16
	31,53	0,47	0,94			
	31,53	0,47	0,94			
50,88	38,09	0,64	1,28	1,19	38,99	32,76
	39,29	0,58	1,16			
	39,58	0,57	1,14			
74,25	58,71	0,78	1,56	1,60	58,27	36,42
	58,01	0,81	1,62			
	58,08	0,81	1,62			

Dados experimentais do corante Azul Dianix, em pH = 7, para a construção da isoterma de Freundlich.

Ceq méd. ($mg\ L^{-1}$)	ln Ceq méd.	Qe méd. ($mg\ g^{-1}$)	ln Qe méd.
8,03	2,08	0,15	-1,90
12,39	2,52	0,31	-1,17
15,12	2,72	0,49	-0,71
19,17	2,95	0,47	-0,76
31,20	3,44	0,97	-0,03
38,99	3,66	1,19	0,17
58,27	4,07	1,60	0,47

- **Corante Azul Dianix em pH = 4**

Dados experimentais do corante Azul Dianix, em pH = 4, para a construção da isoterma de Langmuir.

Ci ($mg\ L^{-1}$)	**A**	**Ceq ($mg\ L^{-1}$)**	**Ceq média ($mg\ L^{-1}$)**	**Qa ($mg\ L^{-1}$)**	**Qa média ($mg\ L^{-1}$)**	**Ceq méd./Qa méd.**
9,56	0,127	6,98	7,03	2,58	2,53	2,78
	0,129	7,13		2,43		
	0,127	6,98		2,58		
14,64	0,178	10,73	10,51	3,91	4,13	2,54
	0,176	10,59		4,05		
	0,171	10,22		4,42		
20,16	0,243	15,52	15,10	4,64	5,06	2,98
	0,227	14,34		5,82		
	0,242	15,45		4,71		
25,32	0,283	18,47	18,32	6,85	7,00	2,62
	0,278	18,10		7,22		
	0,282	18,39		6,93		
40,93	0,495	34,08	33,27	6,85	7,66	4,34
	0,472	32,38		8,55		
	0,485	33,34		7,59		
49,84	0,554	37,69	38,96	12,15	10,88	3,58
	0,582	40,48		9,36		
	0,558	38,72		11,12		
74,65	0,820	58,01	60,54	16,64	14,11	4,29
	0,884	62,72		11,93		
	0,859	60,88		13,77		

Linearização dos dados experimentais do corante Azul Dianix, em pH = 4.

Ci (mg L^{-1})	Ceq (mg L^{-1})	M adsorvida (mg)	Qe (mg g^{-1})	Qe méd. (mg g^{-1})	Ceq méd. (mg L^{-1})	Ceq méd/Qe méd. (g L^{-1})
9,56	6,98	0,13	0,26	0,25	7,03	28,12
	7,13	0,12	0,24			
	6,98	0,13	0,26			
14,64	10,73	0,20	0,40	0,41	10,51	25,63
	10,59	0,20	0,40			
	10,22	0,22	0,44			
20,16	15,52	0,23	0,46	0,51	15,10	29,61
	14,34	0,29	0,58			
	15,45	0,24	0,48			
25,32	18,47	0,34	0,68	0,70	18,32	26,17
	18,10	0,36	0,72			
	18,39	0,35	0,70			
40,93	34,08	0,34	0,68	0,77	33,27	43,21
	32,38	0,43	0,86			
	33,34	0,38	0,76			
49,84	37,69	0,61	1,22	1,09	38,96	35,74
	40,48	0,47	0,94			
	38,72	0,56	1,12			
74,65	58,01	0,83	1,66	1,41	60,54	42,94
	62,72	0,60	1,20			
	60,88	0,69	1,38			

Dados experimentais do corante Azul Dianix, em pH = 4, para a construção da isoterma de Freundlich.

Ceq méd. (mg L^{-1})	ln Ceq méd.	Qe méd. (mg g^{-1})	ln Qe méd.
7,03	1,95	0,25	-1,39
10,51	2,35	0,41	-0,89
15,10	2,71	0,51	-0,67
18,32	2,91	0,70	-0,36
33,27	3,50	0,77	-0,26
38,96	3,66	1,09	0,09
60,54	4,10	1,41	0,34

- **Corante Azul Dianix em pH = 10**

Dados experimentais do corante Azul Dianix, em pH = 10, para a construção da isoterma de Langmuir.

Ci ($mg\ L^{-1}$)	**A**	**Ceq ($mg\ L^{-1}$)**	**Ceq média ($mg\ L^{-1}$)**	**Qa ($mg\ L^{-1}$)**	**Qa média ($mg\ L^{-1}$)**	**Ceq méd./Qa méd.**
9,05	0,131	7,40	7,23	1,65	1,82	3,97
	0,128	7,18		1,87		
	0,127	7,11		1,94		
14,74	0,179	10,85	11,04	3,89	3,70	2,98
	0,184	11,21		3,53		
	0,182	11,07		3,67		
20,07	0,230	14,52	14,69	5,55	5,38	2,73
	0,232	14,67		5,40		
	0,235	14,88		5,19		
25,25	0,280	18,12	18,39	7,13	6,86	2,68
	0,289	18,77		6,48		
	0,282	18,27		6,98		
41,52	0,480	32,52	31,37	9,00	10,15	3,09
	0,462	31,23		10,29		
	0,450	30,36		11,16		
50,23	0,604	41,45	41,43	8,78	8,80	4,71
	0,598	41,02		9,21		
	0,609	41,81		8,42		
74,06	0,908	63,33	62,69	10,73	11,37	5,51
	0,889	61,97		12,09		
	0,900	62,76		11,30		

Linearização dos dados experimentais do corante Azul Dianix, em pH = 10.

Ci ($mg\ L^{-1}$)	Ceq ($mg\ L^{-1}$)	M adsorvida (mg)	Qe ($mg\ g^{-1}$)	Qe méd. ($mg\ g^{-1}$)	Ceq méd. ($mg\ L^{-1}$)	Ceq méd/Qe méd. ($g\ L^{-1}$)
9,05	7,40	1,65	3,30	3,64	7,23	1,99
	7,18	1,87	3,74			
	7,11	1,94	3,88			
14,74	10,85	3,89	7,78	7,39	11,04	1,49
	11,21	3,53	7,06			
	11,07	3,67	7,34			
20,07	14,52	5,55	11,10	10,76	14,69	1,37
	14,67	5,40	10,80			
	14,88	5,19	10,38			
25,25	18,12	7,13	14,26	13,73	18,39	1,34
	18,77	6,48	12,96			
	18,27	6,98	13,96			
41,52	32,52	9,00	18,00	20,30	31,37	1,55
	31,23	10,29	20,58			
	30,36	11,16	22,32			
50,23	41,45	8,78	17,56	17,61	41,43	2,35
	41,02	9,21	18,42			
	41,81	8,42	16,84			
74,06	63,33	10,73	21,46	22,75	62,69	2,76
	61,97	12,09	24,18			
	62,76	11,30	22,60			

Dados experimentais do corante Azul Dianix, em pH = 10, para a construção da isoterma de Freundlich.

Ceq méd. ($mg\ L^{-1}$)	ln Ceq méd.	Qe méd. ($mg\ g^{-1}$)	ln Qe méd.
7,23	1,98	3,64	1,29
11,04	2,40	7,39	2,00
14,69	2,69	10,76	2,38
18,39	2,91	13,73	2,62
31,37	3,45	20,30	3,01
41,43	3,72	17,61	2,87
62,69	4,14	22,75	3,12

- **Corante Vermelho Dianix em pH = 7**

Dados experimentais do corante Vermelho Dianix, em pH = 7, para a construção da isoterma de Langmuir.

Ci (mg L^{-1})	A	Ceq (mg L^{-1})	Ceq média (mg L^{-1})	Qa (mg L^{-1})	Qa média (mg L^{-1})	Ceq méd./Qa méd.
10,06	0,024	0,10	0,13	9,96	9,93	0,01
	0,025	0,16		9,90		
	0,022	**		**		
15,94	0,034	0,76	0,96	15,18	14,98	0,06
	0,038	1,03		14,91		
	0,039	1,10		14,84		
25,23	0,034	0,76	0,70	24,47	24,53	0,03
	0,029	0,43		24,80		
	0,036	0,90		24,33		
40,40	0,071	3,24	3,35	37,16	37,05	0,09
	0,068	3,04		37,36		
	0,079	3,77		36,63		
49,29	**	**	3,81	**	45,49	0,08
	0,079	3,77		45,52		
	0,080	3,84		45,45		
80,00	0,252	15,34	14,49	64,66	65,51	0,22
	0,223	13,40		66,60		
	0,243	14,73		65,27		

Linearização dos dados experimentais do corante Vermelho Dianix, em pH = 7.

Ci (mg L^{-1})	Ceq (mg L^{-1})	M adsorvida (mg)	Qe (mg g^{-1})	Qe méd. (mg g^{-1})	Ceq méd. (mg L^{-1})	Ceq méd/Qe méd. (g L^{-1})
10,06	0,10	0,50	1,00	1,00	0,13	0,13
	0,16	0,50	1,00			
	**	**	**			
15,94	0,76	0,76	1,52	1,50	0,96	0,64
	1,03	0,75	1,50			
	1,10	0,74	1,48			
25,23	0,76	1,22	2,44	2,45	0,70	0,29
	0,43	1,24	2,48			
	0,90	1,22	2,44			
40,40	3,24	1,86	3,72	3,71	3,35	0,90
	3,04	1,87	3,74			
	3,77	1,83	3,66			
49,29	**	**	**	5,15	3,81	0,74
	3,77	2,28	5,76			
	3,84	2,27	4,54			
80,00	15,34	3,23	6,46	6,55	14,49	2,21
	13,40	3,33	6,66			
	14,73	3,26	6,52			

Dados experimentais do corante Vermelho Dianix, em pH = 7, para a construção da isoterma de Freundlich.

Ceq méd. (mg L^{-1})	ln Ceq méd.	Qe méd. (mg g^{-1})	ln Qe méd.
0,13	-2,04	1,00	0
0,96	-0,04	1,50	0,41
0,70	-0,36	2,45	0,90
3,35	1,21	3,71	1,31
3,81	1,34	5,15	1,64
14,49	2,67	6,55	1,88

- **Corante Vermelho Dianix em pH = 4**

Dados experimentais do corante Vermelho Dianix, em pH = 4, para a construção da isoterma de Langmuir.

Ci (mg L^{-1})	A	Ceq (mg L^{-1})	Ceq média (mg L^{-1})	Qa (mg L^{-1})	Qa média (mg L^{-1})	Ceq méd./Qa méd.
10,70	0,030	0,38	0,38	10,32	10,32	0,04
	0,032	0,51		10,19		
	0,028	0,25		10,45		
15,92	0,034	0,64	0,70	15,28	15,22	0,05
	0,036	0,77		15,15		
	0,035	0,70		15,22		
27,00	0,044	1,28	1,13	25,72	25,87	0,04
	0,044	1,28		25,72		
	0,037	0,83		26,17		
40,68	0,053	1,86	1,67	38,82	39,01	0,04
	0,043	1,22		39,46		
	0,054	1,93		38,75		
48,22	0,036	0,77	2,34	47,45	45,88	0,05
	0,070	2,96		45,26		
	0,075	3,28		44,94		
80,00	0,191	10,76	11,25	69,24	68,75	0,16
	0,205	11,66		68,34		
	0,200	11,34		68,66		

Linearização dos dados experimentais do corante Vermelho Dianix, em pH = 4.

Ci (mg L^{-1})	Ceq (mg L^{-1})	M adsorvida (mg)	Qe (mg g^{-1})	Qe méd. (mg g^{-1})	Ceq méd. (mg L^{-1})	Ceq méd/Qe méd. (g L^{-1})
10,70	0,38	0,52	1,04	1,03	0,38	0,37
	0,51	0,51	1,02			
	0,25	0,52	1,04			
15,92	0,64	0,76	1,52	1,52	0,70	0,46
	0,77	0,76	1,52			
	0,70	0,76	1,52			
27,00	1,28	1,29	2,58	2,59	1,13	0,44
	1,28	1,29	2,58			
	0,83	1,31	2,62			
40,68	1,86	1,94	3,88	3,90	1,67	0,43
	1,22	1,97	3,94			
	1,93	1,94	3,88			
48,22	0,77	2,37	4,74	4,59	2,34	0,51
	2,96	2,26	4,52			
	3,28	2,25	4,50			
80,00	10,76	3,46	6,92	6,87	11,25	1,64
	11,66	3,42	6,84			
	11,34	3,43	6,86			

Dados experimentais do corante Vermelho Dianix, em pH = 4, para a construção da isoterma de Freundlich.

Ceq méd. (mg L^{-1})	ln Ceq méd.	Qe méd. (mg g^{-1})	ln Qe méd.
0,38	-0,97	1,03	0,03
0,70	-0,36	1,52	0,42
1,13	0,12	2,59	0,95
1,67	0,51	3,90	1,36
2,34	0,85	4,59	1,52
11,25	2,42	6,87	1,93

- **Corante Vermelho Dianix em pH = 10**

Dados experimentais do corante Vermelho Dianix, em pH = 10, para a construção da isoterma de Langmuir.

Ci ($mg\ L^{-1}$)	A	Ceq ($mg\ L^{-1}$)	Ceq média ($mg\ L^{-1}$)	Qa ($mg\ L^{-1}$)	Qa média ($mg\ L^{-1}$)	Ceq méd./Qa méd.
16,00	0,037	0,39	0,35	15,61	15,65	0,02
	0,036	0,33		15,67		
	0,036	0,33		15,67		
27,48	0,050	1,26	0,86	26,22	26,62	0,03
	0,040	0,59		26,89		
	0,042	0,73		26,75		
42,02	0,068	2,46	2,01	39,56	40,01	0,05
	0,055	1,59		40,43		
	0,061	1,99		40,03		
49,49	0,065	2,26	2,28	47,23	47,21	0,05
	0,063	2,13		47,36		
	0,068	2,46		47,03		
80,00	0,219	12,53	12,69	67,47	67,31	0,19
	0,221	12,67		67,33		
	0,224	12,87		67,13		

Linearização dos dados experimentais do corante Vermelho Dianix, em pH = 10.

Ci ($mg\ L^{-1}$)	Ceq ($mg\ L^{-1}$)	M adsorvida (mg)	Qe ($mg\ g^{-1}$)	Qe méd. ($mg\ g^{-1}$)	Ceq méd. ($mg\ L^{-1}$)	Ceq méd/Qe méd. ($g\ L^{-1}$)
16,00	0,39	0,78	1,56	1,56	0,35	0,22
	0,33	0,78	1,56			
	0,33	0,78	1,56			
27,48	1,26	1,31	2,62	2,66	0,86	0,32
	0,59	1,34	2,68			
	0,73	1,34	2,68			
42,02	2,46	1,98	3,96	4,00	2,01	0,50
	1,59	2,02	4,04			
	1,99	2,00	4,00			
49,49	2,26	2,36	4,72	4,72	2,28	0,48
	2,13	2,37	4,74			
	2,46	2,35	4,70			
80,00	12,53	3,37	6,74	6,73	12,69	1,89
	12,67	3,37	6,74			
	12,87	3,36	6,72			

Dados experimentais do corante Vermelho Dianix, em pH = 10, para a construção da isoterma de Freundlich.

Ceq méd. (mg L^{-1})	**ln Ceq méd.**	**Qe méd. (mg g^{-1})**	**ln Qe méd.**
0,35	-1,05	1,56	0,44
0,86	-0,15	2,66	0,98
2,01	0,70	4,00	1,39
2,28	0,82	4,72	1,55
12,69	2,54	6,73	1,91