

ESTUDO DA REMOÇÃO DE CORANTE VERMELHO MR 5B USANDO MICROESFERAS DE QUITOSANA ATRAVÉS DE PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

*Ellen Yasmim da Silva¹, Prof. Dr. Zilvam Melo dos Santos², Prof.^a Dra. Izabelly Larissa Lucena³
Autor(a)¹, Orientador², Coorientadora³*

Resumo: A indústria têxtil é um dos setores de maior desenvolvimento e de grande importância para economia mundial. Porém, ela também é uma das causadoras de problemas ambientais devido a geração de grandes volumes de efluentes originário da etapa de tingimento. No processo de tingimento, por exemplo, é uma das etapas que mais são produzidos efluentes têxteis, pois há o uso de corantes. Dentre os vários tipos de corantes, o uso de corantes reativos é o mais pronunciado, uma vez que apresentam ótimas vantagens como: formar ligações fortes com as fibras têxteis, ampla variedade de cores, boa solidez nas cores e alta solubilidades em água. Dentre várias técnicas, a adsorção é um dos meios que podem ser utilizados no tratamento destes efluentes. A quitosana é um polímero comum em crustáceos, que vem de origem da quitina, sendo este o segundo polímero natural mais abundante da terra, biodegradável e que não agride ambiente. Desta forma, a quitosana vem atraindo bastante atenção na sua aplicação como adsorvente. Neste estudo, foram preparadas microesferas de quitosana e aplicadas como adsorvente para o corante reativo vermelho MR 5B. O estudo de adsorção foi realizado aplicando-se o planejamento experimental ²³, variando o pH, a dosagem de quitosana (g/L) e a concentração de corante (ppm). Foi possível observar que, o pH é o fator mais significativo estatisticamente no processo de adsorção, dentro dos parâmetros estudados. A quitosana demonstrou um comportamento aceitável quando utilizada como adsorvente, pois em seu melhor resultado obteve um percentual de 54,75 % de remoção do corante reativo vermelho.

Palavras-chave: Adsorção; corante; quitosana; planejamento experimental;

1. INTRODUÇÃO

A importância da água para a existência de vida na Terra é indiscutível. Além disso, esse recurso natural é necessário para realizar diversas atividades antrópicas, tais como a produção de alimentos, de energia, de bens de consumo, de transporte e de lazer, assim como para a manutenção e o equilíbrio ambiental dos ecossistemas terrestre [1].

Entre os setores que usam a água em abundância está o setor têxtil que no Brasil tem uma grande importância econômica, onde segundo a ABIT (Associação Brasileira de Indústria Têxtil e de Confecção) representa a 5ª maior indústria têxtil no mundo. Com os prejuízos ambientais causados pelo setor, é fundamental que as empresas busquem métodos para minimizar os impactos negativos causados [2].

Durante a confecção dos tecidos são utilizados elevados volumes de água no processo de tingimento, sendo ele o maior contaminante dessa indústria. Segundo o banco de dados Colour Index, existem mais de 34.500 corantes e pigmentos diferentes listados, que são classificados em dois grandes grupos em função de sua estrutura química e sua aplicação. Sabendo que há presença de corantes nos efluentes industriais, são necessários métodos eficientes e de baixo custo para remover corantes dos efluentes deste tipo de indústria para diminuir os problemas ambientais [3,4].

As formas mais comumente usadas no tratamento de efluentes têxteis são: adsorção, oxidação, coagulação, floculação e degradação química. A adsorção é um método que vem sendo bastante estudado uma vez que apresenta elevada eficiência e baixo custo, quando comparada aos outros métodos[5].

Nesse estudo, foi utilizado o método da adsorção por microesferas de quitosana, que é um biopolímero natural, de fácil obtenção na natureza por ser de grande abundância, biodegradável, e com elevado potencial de adsorção.

Sabendo-se da necessidade da redução dos danos causados pelas indústrias têxteis o presente trabalho teve como objetivo identificar estatisticamente quais parâmetros que mais afetam a adsorção do corante reativo vermelho MR 5B através da quitosana em microesferas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Corantes

Corantes contendo um ou mais grupos azo compreendem a maior família de corantes orgânicos. Os tipos de destaque são: corantes ácidos para substratos de poliamida e proteína, como nylon, lã e seda; corantes dispersos para substratos hidrofóbicos, como poliéster e acetato, e corantes diretos e reativos para substratos celulósicos, como algodão, rayon, linho e papel [6].

Os corantes reativos são mais comumente escolhidos porque apresentam cores mais brilhantes, fácil aplicabilidade e estabilidade nas cores. Estes tem sido amplamente utilizados no Brasil para a tintura de algodão, devido sua estabilidade com a fibra. Os corantes apesar de parecerem inofensivos, sendo que sua função é somente alterar a cor e tonalidade de outros materiais, podem causar danos à saúde devido a sua composição ou mesmos provocando outros malefícios como a diminuição da oxigenação da água em rios e lagos, dependendo do tipo de corante utilizado e suas características [7].

Os tingimentos baseados nas ligações iônicas ocorrem com base na interação da carga positiva na fibra e a carga negativa do corante. Outro tipo de interação que pode ocorrer entre as fibras e os corantes são as interações de hidrogênio, as quais consistem na ligação entre os átomos de hidrogênio do corante e os pares de elétrons livres da fibra. As interações de Van der Waals são formadas através da interação causada pela proximidade entre orbitais p, devido as suas afinidades, sem formar ligações. As interações covalentes nada mais são do que uma ligação covalente formada por um grupo do corante e um grupo presente na fibra [7].

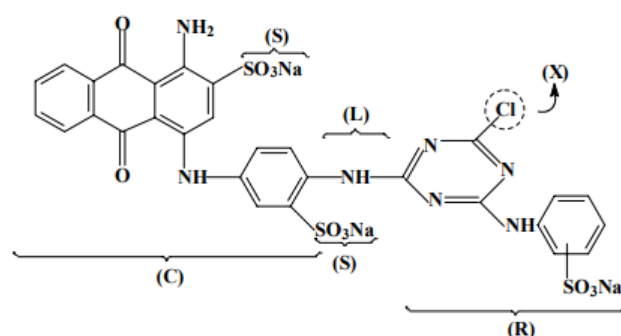


Figura 1 – Estrutura dos corantes reativos (Adaptado de Kimura, I. Y. et al., 1999)

A Figura 1 representa a estrutura de um corante de um grupo reativo genérico que geralmente é formado pelos sistemas estruturais sendo eles, sistema cromofórico (C) responsável pelo fenômeno da cor, um grupo sulfonato (S), responsável pela solubilidade e caráter aniônico do corante, e um grupo reativo (R) que pode fazer uma ligação covalente com reações de adição ou substituição nucleofílica nas fibras de celulose, sendo os anéis heterocíclicos e vinilsulfona os habitualmente usados e um grupo de saída (X) geralmente composto por um halogênio.

2.2. Adsorção

A adsorção é um fenômeno de transferência de massa em que uma substância denominada de adsorvato presente em um fluido se liga a superfície de um sólido chamado de adsorvente. Sendo um processo de característica física quando ocorre somente a interação por meio de ligações de Van der Waals que são mais fracas, ou de natureza química quando há a formação de ligações mais fortes como as covalentes [7]. Como apresentado na Figura 2 a adsorção acontece quando a substância fica retida na superfície da outra sem fazer parte de seu volume, enquanto a absorção é uma substância que é embebida por outra, ocasionando mudança de volume.

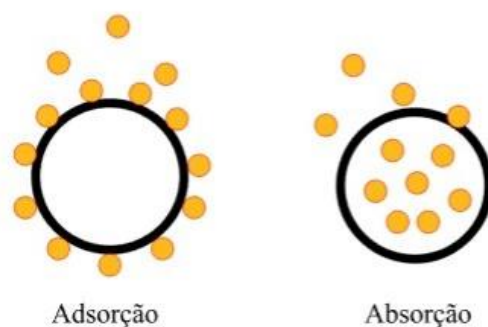


Figura 2 - Diferença entre o processo de Adsorção e Absorção. (Autoria própria)

A adsorção por meio da quitosana é muito estudado como um possível substituto do carvão ativado, mas estes estudos são feitos principalmente para a quitosana em pó, poucas vezes são usados outros métodos apesar da fácil mudança de morfologia da quitosana.

Existem diversos fatores que podem interferir na adsorção, como a temperatura, tempo de contato, tamanho das partículas, pH, quantidade de adsorvente e de adsorvato, dentre eles foram estudados três fatores que podem influenciar a quantidade de remoção de corante na solução, sendo eles pH e quantidade de adsorvente e adsorvato [7].

2.3. Quitosana

A quitosana (Figura 3) é um biopolímero originada da quitina, do tipo polissacarídeo sendo encontrada na sua maioria nos crustáceos e insetos. Ela apresenta grande potencial para uso biotecnológico por ser uma substância atóxica e biodegradável. Por causa das propriedades de muco adesividade, biocompatibilidade, biodegradabilidade e solubilidade em meio ácido, a quitosana vem ganhando importância na indústria farmacêutica como um promissor agente carreador de fármacos nas formas de membranas, micro e nanopartículas, géis, comprimidos, cápsulas, etc. [9].

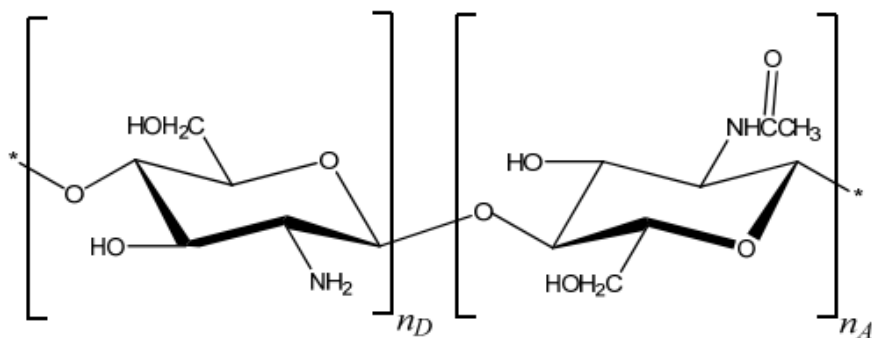


Figura 3 – Fórmula estrutural da Quitosana. (CARONI, A.L. 2009).

A fórmula molecular do mero quitina é $(\text{C}_8\text{H}_{13}\text{O}_5\text{N})_n$. A execução da reação química de N-desacetilação da quitina, através do emprego de soluções concentradas de hidróxido de sódio e de temperaturas elevadas para a produção de quitosana, é considerada um aspecto importante na utilização comercial deste polímero. Esse processamento deve ser realizado de maneira adequada, a fim de garantir que, ao final do processo a obtenção de quitosana com alto grau de desacetilação. As condições utilizadas na reação supracitada determinam a massa molar média e o grau de desacetilação médio na quitosana obtida. Ao contrário desse processo químico, a desacetilação enzimática produz quitosana com pequenas variações em sua massa molar e grau de desacetilação [10].

A presença de grupos amino protonados permite que a quitosana interaja quimicamente com sistemas aniônicos, gerando complexos polieletrólíticos, obtendo novas características físico-químicas, e com isso, novas aplicabilidades. Adicionalmente a quitosana tem propriedades antiácidas e antiulcerosas, o que previne ou enfraquece as irritações causadas por fármacos no estômago [11].

2.4. Planejamento Experimental

O planejamento experimental implica em uma visão preliminar da pesquisa como um todo, prevendo o conjunto das ações que serão executadas em seu desenvolvimento. Enunciar as hipóteses de trabalho é ponto fundamental da investigação científica. A fase experimental corresponde à criação de uma situação particular ideal, estabelecendo-se um modelo que possibilite a observação dos fatos em todos os seus detalhes e que, por fim, permita comprovar ou rejeitar as hipóteses. Qualquer que seja a pesquisa em laboratório, é fundamental que o pesquisador a execute em função de um planejamento adequado, para que seus resultados sejam válidos. No planejamento deverá constar, ainda, um item referente aos métodos estatísticos que serão empregados para a análise dos dados. Um planejamento adequado, com questões claramente formuladas, deverá resultar em uma análise estatística simples e objetiva. O alcance dos resultados e o grau de generalização das conclusões do estudo dependem da maneira como são levados em conta os fatores que influenciam a resposta e do enunciado das condições e restrições da pesquisa, que devem estar explicitamente discutidas no planejamento [12].

3. MATERIAIS E MÉTODO

Os materiais utilizados neste estudo foram fornecidos pela Universidade Federal Rural do Semi Árido. O adsorvente utilizado foi a Quitosana em pó fornecido pela empresa Polymar com o grau de desacetilação de 73,86 %, que foi determinado por análise condutimétrica de acordo com a metodologia usada por Caroni, 2009 [10]. O adsorvato foi o corante reativo vermelho MR 5B.

3.1. Métodos

3.1.1. Dados espectrofotométricos

Inicialmente foram preparadas soluções do corante vermelho reativo MR 5B. Posteriormente, seus respectivos pH's foram ajustados usando quantidades apropriadas de soluções de NaOH e HCl 1 mol/L, de forma a se obter os pH's 4, 7, e 10. Tais soluções foram aferidas utilizando-se um medidor de pH (TECNAL, modelo Tec-3MP).

Os espectros de varredura compreenderam a faixa de comprimento de onda de intervalo visível para corante MR 5B (350 a 800 nm), usando o espectrofotômetro (GEHAKA, modelo UV-Vis 340G). Os comprimentos de onda máximos encontrados para os pH's 4, 7 e 10 foram, respectivamente, 538, 538 e 539 nm. A partir destes dados, foram obtidas curvas analíticas com ajustes lineares, de forma a associar a concentração de corante com a absorbância, assim chegando a coeficientes de correlação próximos a unidade.

3.1.2 Planejamento Experimental

O planejamento experimental estatístico foi desenvolvido com objetivo de facilitar a análise entre os parâmetros observados no estudo da remoção do corante reativo vermelho MR5B pelo método de adsorção com micro esferas de quitosana. Sendo realizado um planejamento estatístico do tipo 2^3 , com triplicata no ponto central, em que foi avaliado a dosagem de quitosana (g/L), o pH da solução e a concentração do corante na solução (ppm). A Tabela 2 mostra os níveis das variáveis estudadas no planejamento experimental executado.

Tabela 1 – Níveis das variáveis do planejamento experimental 2^3 para remoção do corante reativo vermelho MR 5B. (Autoria própria).

Níveis dos fatores	pH	Dosagem de Quitosana (g/L)	Concentração de corante (ppm)
-1	4	0,5	50
0	7	1,75	125
1	10	3	200

Em seguida, com as três variáveis analisada foi gerada a Tabela 2 que apresenta a matriz experimental, foram oito experimentos realizados mais a triplicata totalizando 11 ensaios em laboratório.

Tabela 2 – Matriz experimental do planejamento. (Autoria própria).

Ensaio	pH	Dosagem de Quitosana (g/L)	Concentração do corante (ppm)
1	-1	-1	-1
2	1	-1	-1
3	-1	1	-1
4	1	1	-1
5	-1	-1	1
6	1	-1	1
7	-1	1	1
8	1	1	1
9 (ponto central)	0	0	0
10 (ponto central)	0	0	0
11 (ponto central)	0	0	0

3.1.3 Microesferas

Na preparação das microesferas de quitosana foi usado a quitosana de grau de desacetilação de 73,86 %, onde foi solubilizada em solução de ácido acético a 2 % (v/v) para a concentração de quitosana a 3 % (m/v). A solução preparada ficou sob agitação por 24 h em um agitador magnético.

No preparo das microesferas de quitosana, a solução foi gotejada em solução de hidróxido de sódio a 2 mol/L, que permaneceram em agitação na solução de hidróxido de sódio por mais 24 h. Em seguida, foram lavadas com água deionizada por pelo menos 3 vezes para garantir a retirada de resíduos de hidróxido de sódio e a neutralização de forma a chegar em pH 7. A Figura 4 apresenta a formação das microesferas.



Figura 4 – Esferas de quitosana sendo produzidas (autoria própria).

Em seguida, foram colocadas em solução de glutaraldeído a 2,5 %, onde permaneceram em agitação constante durante 24 h, depois foram lavadas novamente em água deionizada e armazenada em um recipiente com água deionizada. As microesferas utilizadas nos ensaios estavam úmidas e para garantir a sua eficiência foi calculado o teor de sólidos nas esferas para poder ajustar a massa a ser utilizada, como mostra a Equação 1:

$$\text{teor de sólidos}(\%) = \left(\frac{\text{massa úmida}}{\text{massa seca}} \right) * 100 \quad (1)$$

3.1.4 Ensaio de adsorção

Os ensaios de adsorção foram realizados ao pôr em contato a solução corante com as microesferas de quitosana em um determinado pH, onde suas respectivas quantidades estão descritas nas Tabelas 1 e 2. As amostras foram mantidas sob a agitação orbital (SHAKER, modelo SL 222) a uma temperatura constante de 37 °C e agitação constante de 160 RPM durante um período de 24 h. Após esse tempo foram o sobrenadante foi cuidadosamente retirado e levado para uma centrífuga (80-2B CENTRIFUGE) por 10 minutos a 4.000 RPM. Após este tempo, o a amostra foi levada a análise espectrofotométrica. A Figura 4 apresenta as microesferas antes e depois do processo de adsorção do corante.

As amostras foram mantidas sob a agitação orbital (SHAKER, modelo SL 222) a uma temperatura constante de 37 °C e agitação constante de 160 RPM durante um período de 24 h. Após esse tempo foram retiradas e levadas para uma centrífuga (80-2B CENTRIFUGE) por 10 minutos, para depois serem levadas para se obter a leituras no espectrômetro. A Figura 5 apresenta as microesferas antes e depois da adsorção do corante.



Figura 5 – Esferas de quitosana antes e após adsorver o corante (autoria própria)

Para se obter os percentuais de remoção das microesferas foi usada a Equação 2.

$$\text{Percentual de remoção(\%)} = \left(\frac{C_0 - C_f}{C_0} \right) * 100 \quad (2)$$

Onde,

C_0 = Concentração inicial;

C_f = Concentração final;

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 3 mostra os valores de porcentagem de remoção obtidos após os ensaios de adsorção, realizados conforme a matriz experimental apresentada anteriormente (Tabela 2).

Tabela 3 – Rendimentos obtidos através do processo de adsorção. (Autoria própria).

Ensaio	pH	Dosagem de Quitosana (g/L)	Concentração (ppm)	Remoção (%)
1	-1	-1	-1	51,76
2	1	-1	-1	16,07
3	-1	1	-1	54,75
4	1	1	-1	38,34
5	-1	-1	1	23,06
6	1	-1	1	7,17
7	-1	1	1	36,98
8	1	1	1	24,31
9	0	0	0	46,33
10	0	0	0	47,41
11	0	0	0	47,42

A partir dos valores exibidos na Tabela 3 foi possível observar que o ensaio 3 apresentou maior porcentagem de remoção (54,75 %), o qual foi realizado utilizando-se o menor valor de pH, mínima concentração inicial de corante e maior dosagem quitosana. Observa-se ainda, que os melhores resultados são para os experimentos realizados no pH ácido. Verifica-se ainda, que no ensaio 6, no qual se aplicou o maior pH obteve-se a menor porcentagem de remoção (7,17 %). Sugerido que o pH da solução influencia o processo de adsorção do corante reativo.

Ao ser observado o resultado dos ensaios 1 e 2 da Tabela 3, verifica-se que apresentam a mesma dosagem de quitosana e concentração de corante, porém um está no pH máximo e outro no mínimo; neles pode-se notar que suas remoções tiveram drásticas diferenças. Resultados similares foram obtidos Kimura, I.Y. *et al.* (1999) ao estudar a interação entre corante reativos e microesferas de quitosana, a qual atribuiu que a adsorção em meio ácido dos corantes reativos ocorre principalmente às interações iônicas entre os grupos $-\text{SO}_3^-$ dos corantes e $-\text{NH}_3^+$ da quitosana. Sendo a acidez do meio é um fator de grande influência nas interações entre adsorvente e adsorvato em relação as interações eletrostáticas. Em relação à porosidade das microesferas, o meio ácido induz uma forte repulsão entre as cadeias de quitosana carregadas positivamente, resultando na expansão dos poros e favorecendo o processo de adsorção. A adsorção no meio alcalino sofre diminuição devido ao número de grupos $-\text{NH}_3^+$ da quitosana, diminuindo assim a interação entre estes e os grupos $-\text{SO}_3^-$ dos corantes; portanto em pH 10 houve baixa adsorção dos corantes [13].

Quanto maior a concentração inicial de adsorvato, maior será a interação e menor o tempo para uma determinada massa ser adsorvida, tornando o tempo para alcançar a condição de equilíbrio menor [6].

Na Figura 6 apresenta-se o diagrama de Pareto onde através da análise do diagrama podemos avaliar quais variáveis estudadas influenciam a variável resposta escolhida (porcentagem de remoção). A análise dos dados foi realizada através do de forma a se obter um intervalo de confiança de 95 %. Logo pode-se observar que todas as variáveis estudadas foram relevantes, assim como a interação entre o pH e corante, e entre o pH e quitosana, quanto maior o teor de quitosana e menor a concentração inicial de corante, maior a porcentagem de remoção. Enquanto a porcentagem de remoção mostra um resultado mais significativo em meio ácido.

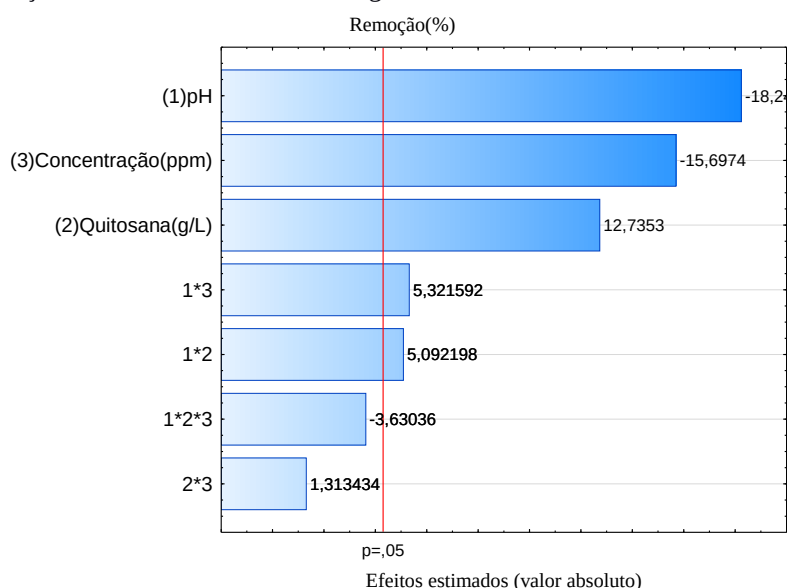


Figura 6 – Diagrama de Pareto com intervalo de confiança de 95 %. (Autoria própria).

A partir de uma regressão não linear foi possível gerar o modelo estatístico linear para o percentual de remoção (Equação 2), sendo X_1 o pH, X_2 o teor de quitosana e X_3 a concentração inicial de corante.

$$\text{Percentual de remoção} = (35,6408 \pm 0,4771352) + (10,0815 \pm 0,5527)X_1 - (7,0389 \pm 0,5527)X_2 - (8,6761 \pm 0,5527)X_3 + (2,8145 \pm 0,5527)X_1X_2 - (2,9413 \pm 0,5527)X_1X_3 \quad (3)$$

Para avaliar se modelo estatístico obtido (Equação 3) é preditivo dentro do intervalo das variáveis estudadas foi realizada a análise da variância (ANOVA). A análise da Anova (Tabela 4) também foi conduzida para um intervalo de confiança de 95%.

Tabela 4 - ANOVA para a reação de remoção do corante reativo vermelho utilizando a quitosana como adsorvente, R (coeficiente de determinação) = 0,80052; $F_{6;4;0,05} = 6,16$. (Autoria própria).

Fonte de Variação	Soma Quadrática	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F calculado
Regressão	2432,923	6	405,48	44,55
Erro	36,425	4	9,10	

Total SS	2474,235	10		
-----------------	----------	----	--	--

A Tabela 4 mostra a análise de variância, onde podemos observar que o coeficiente de determinação adquirido através da regressão linear é de 0,80052. Para verificar se modelo é preditivo realiza-se o teste F. Esse teste estatístico permite avaliar se o modelo é preditivo, visto que para ser preditivo o valor de F calculado deve ser maior que o F tabelado. Como o F tabelado apresentou um valor de 6,16 e o F calculado de 44,55. Podemos constatar que o modelo estatístico obtido a partir da regressão linear dos resultados de porcentagem de remoção apresenta-se preditivo dentro do intervalo de valores estudados para variáveis independentes escolhidas.

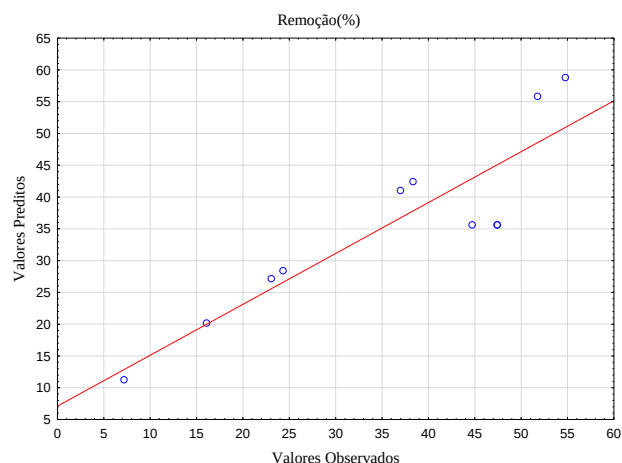
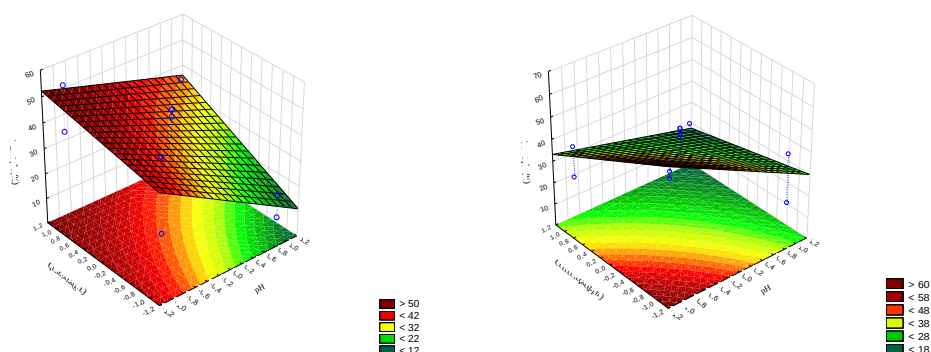
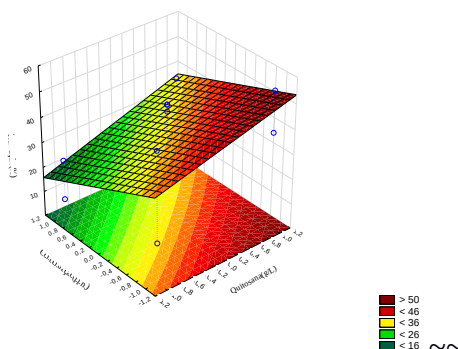


Figura 7 – Valores preditos em função dos valores observados do corante reativo vermelho MR 5B.
(Autoria própria).

A Figura 7 mostra o comportamento dos valores preditos pelo modelo em relação aos valores observados experimentalmente. Por este gráfico verificamos um bom ajuste dos dados experimentais ao modelo estatístico linear proposto para os níveis estudados das variáveis (pH, concentração de quitosana e concentração de corante em solução). O bom ajuste é verificado pelo fato de que os pontos em azul estão próximos a reta representativa, confirmando dessa forma que o modelo é preditivo.

Levando em consideração a remoção de corante como variável resposta e traçando as superfícies respostas para as variáveis estudadas como mostrado na Figura 8, é possível notar que quanto maior o teor de quitosana e pH do meio ácido, maior será a remoção de corante em solução, assim como ficou evidente na Tabela 4 e pelo diagrama de Pareto. Através desses gráficos de superfície, também é possível notar que trabalhando com pH mínimo a adsorção se tornou mais eficiente, com altos percentuais de remoção. Além disso, é possível notar também a grande influência da dosagem de quitosana nos resultados obtidos, pois quando sua dosagem se aproxima do valor máximo dentro dos parâmetros estudados, os percentuais de remoção obtidos também são maiores, quando combinados a soluções em meio ácido.





c) Remoção em Função do teor de quitosana e corante

Figura 8- Superfície resposta da remoção em função dos fatores (autoria própria).

Na Figura 8.a, é possível notar que no pH mais ácido e neutro é onde se tem a melhor remoção do corante utilizado no estudada, a área onde terá uma melhor remoção será na região em que corresponde a uma dosagem de quitosana de 2,5 g/L ou maior. Já na Figura 8.b, nota-se que na área de menor concentração de corante e menor pH é onde se tem a melhor remoção, no terceiro gráfico de superfície (Figura 8.c) tem uma boa remoção até os pontos centrais.

5. CONCLUSÕES

Nas análises dos parâmetros no estudo realizado com microesferas de quitosana para remoção de corante, pode-se observar que dentro da faixa de estudo escolhida o pH 4 teve a melhor taxa de remoção, que foi atribuída às interações dos grupos aniônicos do corante e catiônicos da quitosana. Comportamento similar a este também foi encontrado em outros estudos relatados na literatura. Também pode-se perceber que o uso das microesferas de quitosana são uma opção para a adsorção do corante reativo MR 5B, o que é interessante, pois a quitosana é um material de fácil exploração por sua abundância na natureza.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] LIMA, Jorge Enock Furquin Wernerck, Recursos Hídricos do Brasil e do mundo. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. Pag. 7-8.
- [2] ABIT – Associação Brasileira da Indústria Têxtil. Disponível em: www.abit.org.br, acessado em 12 de Abril de 2023.
- [3] TONIOLO, M.; ZANCAN, N. P.; WÜST, C.. Indústria têxtil: sustentabilidade, impactose minimização. In: VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. 2015. p. 1-5.
- [4] AMORIM, J. Degradação de Corante Têxtil através de coluna permeável reativa de ferro metálico. 2017. 131p. Trabalho de Conclusão de Curso - Bacharelado em Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- [5] N. C. G. Silva, M. C. M. Souza, I. J. Silva Jr., Z. M. dos Santos & M. V. P. Rocha (2015) Removal of Reactive Turquoise Blue Dye from Aqueous Solution Using a Non-Conventional Natural Adsorbent, Separation Science and Technology, 50:11, 1616-1628, DOI: 10.1080/01496395.2014.988829
- [6] Química dos corantes Disponível em: <https://textil.sp.senai.br/5725/quimica-dos-corantes#:~:text=Os%20tipos%20de%20destaque%20s%C3%A3o,%2C%20rayon%2C%20linho%20e%20papel>, acessado em 16 de Maio de 2023.
- [7] GUARATINI, C. C. I.; ZANONI, M. V. B. Corantes têxteis. Química nova, v. 23, p. 71-78, 2000.
- [8] MENESES, B. O. D. S.. Estudo cinético e isotérmico do ácido salicílico utilizando a quitosana como adsorvente. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Bacharel em Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2015.

-
- [9] TRINDADE, C. Membranas de quitosana micro e macroporosas: preparo, caracterização e estudos de permeabilidade. 2008. Tese (Doutor em Química) – Centro de Ciências Exatas e da Terra. Universidade do Rio Grande do Norte.
- [10] CARONI, A. L. Estudos de adsorção de tetraciclina em partículas de quitosana. 2009. 145P. Doutorado – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal – RN, 2009.
- [11] AZEVEDO, V. V. C., CHAVES S. A., BEZERRA, D. C., FOOK, M. V., COSTA A. C. F. M. Quitina e Quitosana: aplicações como biomateriais. 14 novembro 2007, 24 dezembro 2007. Revista Eletrônica de Materiais e Processos, Campina Grande – PB, p.24-37.
- [12] FERREIRA, Sérgio. Uso de técnicas de planejamento experimental em Química Analítica. Grupo de Pesquisa em Química e Quimiometria, 2012. Disponível em:
https://www.cuqa.fq.edu.uy/Congreso2012/conferencias/Conf_SFerreira.pdf. Acesso em: 11 de Maio de 2023.
- [13] KIMURA I. Y., GONÇALVES JR. A. C., STOLBERG J., LARANJEIRA M. C. M., FÁVERE V. T. Efeito do pH e do Tempo de Contato na Adsorção de Corantes Reativos por Microesferas de Quitosana. 03 de setembro 1999. Pág. 6.