

## AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE ADSORÇÃO DO CORANTE TÊXTIL AZUL MARINHO K - BF UTILIZANDO BENTONITA

Hélen Resende Farias (Engenharia Química – Faculdade Satc) E-mail: helenresendef@hotmail.com

Aline Resmini Melo (Engenharia Química – Faculdade Satc) E-mail: aline.melo@satc.edu.br

Carolina Resmini Melo Marques (Engenharia Química – Faculdade Satc) E-mail: carolina.melo@satc.edu.br

Larissa Bento Bortolatto (Engenharia Química – Faculdade Satc) E-mail: larissa.bortolatto@satc.edu.br

**Resumo:** O objetivo do presente estudo foi avaliar a bentonita como adsorvente na remoção do corante azul marinho K-BF, proveniente de efluente de lavanderia têxtil. Antes dos testes de adsorção, a bentonita foi submetida a uma modificação, que se resume basicamente na adição de moléculas orgânicas, para que suas galerias se expandam e que mude sua hidrofiliçidade, tornando-a hidrofóbica e resultando numa bentonita organofílica. Neste estudo foram avaliadas as influências da temperatura, pH e concentração de adsorvente na adsorção do corante têxtil. Diante disso, foi elaborado um planejamento experimental baseado na metodologia de planejamento fatorial  $2^3$  com 2 repetições do ponto central totalizando 10 experimentos. Durante os ensaios, foi possível verificar a melhora significativa na coloração do efluente em todas as amostras, que modificou de azul escuro, para azul claro e translúcido. As análises das amostras comprovaram a remoção de até 89,18% da cor com os parâmetros de pH 2,0, temperatura de 35°C e 1,0 g de bentonita organofílica. De acordo com os resultados do *Software Statistica*, sucedeu que apenas a temperatura possui influência significativa na adsorção do corante neste estudo. Assim, o uso da bentonita organofílica na adsorção de corante têxtil se mostrou promissor devido a alta capacidade de adsorção.

**Palavras-chave:** Efluente têxtil, Planejamento Experimental, Temperatura.

## ASSESSMENT OF THE ADSORPTION CAPACITY OF NAVY BLUE TEXTILE DYE K - BF USING BENTONITE

**Abstract:** The aim of the present study was to evaluate bentonite as an adsorbent in the removal of the navy blue dye K-BF, proof of effluence from the textile laundry. Before the adsorption tests, a bentonite was subjected to a change, which resumes the addition of organic molecules, so that its galleries expand and that its hydrophilicity, uses a hydrophobic and results in an organophilic bentonite. In this study, the influences of temperature, pH and adsorbent concentration on the adsorption of the textile dye were evaluated. In view of this, an experimental design was developed based on the factorial design methodology  $2^3$  with 2 repetitions of the central point, totaling 10 experiments. During the tests, it was possible to verify the significant improvements in the color of the effluent in all colors, which changed the dark blue, the light blue and the translucent. As the analysis of the samples showed a removal of up to 89.18% of the pH 2.0 levels, temperatures of 35 ° C and 1.0 g of organophilic bentonite. According to the results of the Statistica Software, only one temperature has a significant influence on the adsorption of the dye in this study. Thus, the use of the textile dye adsorption bentonite organization proved to be promising due to a high adsorption capacity.

**Keywords:** Textile Effluent, Experimental Planning, Temperature.

### 1. Introdução

Dos poluentes encontrados na indústria têxtil, destacam-se os corantes, compostos estes utilizados em vários segmentos da atividade industrial. Quando não tratados para o descarte, podem resultar em graves danos ambientais, desde que os mesmos sejam tóxicos (OLIVEIRA, 2015). Neste trabalho, o corante selecionado no efluente têxtil foi

o corante reativo azul marinho K-BF, pois é o mais utilizado pela lavanderia têxtil em estudo.

Dentre os adsorventes comerciais, as argilas bentonitas se destacam devido a sua capacidade adsortiva, já que possuem elevada estabilidade, diâmetro de partículas pequenas, baixo custo, abundância e propriedades na superfície que podem ser modificadas por tratamentos adequados (DIAS, 2010). Dentre elas, as argilas bentonitas mostram uma forte afinidade para a adsorção de corantes catiônicos e aniônicos (DUARTE NETO et al., 2014). Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar a capacidade de adsorção da bentonita organofílica na remoção de corante no efluente têxtil de uma lavanderia do Sul de Santa Catarina.

### 1.1 Fatores que influenciam a adsorção

O pH pode comprometer o grau de ionização. Pode influenciar se na superfície do adsorvente existir cargas e por conta dos íons  $H^+$  e  $OH^-$  serem bem fortes, pode influenciar na adsorção de outros íons (HO; OFOMAJA, 2006).

A temperatura acaba desestabilizando o equilíbrio do adsorvente para determinado adsorvato. Também influencia dependendo do tipo de adsorção, pois na adsorção física que é um processo exotérmico, conforme a temperatura cai, a sua extensão aumenta e na adsorção química que é endotérmica o oposto acontece (LUIS, 2009).

Quanto maior o tempo de contato, maior o rendimento na remoção do adsorvato. Porém, a partir de certo momento, essa eficiência torna-se constante, pois o adsorvente já está saturado (LIMA, 2010).

Em relação a quantidade de adsorvente, quanto maior a concentração de adsorvente na solução, maior será a velocidade e remoção de adsorvato. Porém, a capacidade máxima do adsorvente será reduzida (LUIS, 2009).

### 1.2 Bentonita

A bentonita *in nature* é utilizada de modo geral em áreas de fundição, extração de petróleo/gás natural, inclusão como adjuvante na fabricação de graxas e lubrificantes, na construção civil, assim como na indústria de cosméticos. Por outro lado, as principais aplicações das bentonitas ativadas, as quais passaram por algum tipo de tratamento, estão relacionadas com pelotização de minério de ferro, fundição, ração animal, construção civil, fabricação de outros produtos químicos, fertilizantes e extração de petróleo e gás (DNPM, 2014).

Para produzir um material com melhor capacidade de adsorção dos corantes nos efluentes têxteis, que é o foco do trabalho, fez-se necessário a modificação das propriedades físico-químicas da bentonita. No seu estado *in nature*, a bentonita fica restrita a uma série de aplicações por sua hidrofiliidade, dificultando sua interação com variados materiais apolares. Devido a este fato, a modificação em sua estrutura vem chamando atenção dos pesquisadores. Essa modificação se resume basicamente em adicionar moléculas orgânicas nas galerias da argila, assim os planos da argila expandem-se, desta forma reverte sua hidrofiliidade e a torna hidrofóbica, o resultado deste processo é chamado de bentonita organofílica (PAIVA; MORALES E DÍAZ, 2008).

## **2. Materiais e Métodos**

### **2.1 Materiais**

As amostras de bentonitas utilizadas neste trabalho foram submetidas ao processo de organofilização no Laboratório de Materiais e Corrosão (LabMAC), do Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC, Florianópolis/SC).

O efluente de lavanderia utilizado neste estudo foi cedido pela Empresa Criativa Lavanderia Ltda, localizada na cidade de Maracajá/ SC.

No Laboratório do Curso de Engenharia Química da Faculdade Satc foram realizados os ensaios de adsorção (Laboratório de Operações Unitárias e Fenômenos de Transferência II) e os testes de cor foram realizados em um espectrofotômetro (Merck modelo Pharo 100) e pH realizados em um pHmetro, (Quimis modelo 0400RS) (Laboratório de Química II).

### **2.2 Caracterização da bentonita**

Os experimentos de FTIR foram realizados em um espectrofotômetro Modelo Agilent Technologies-Cary 600 Series FTIR Spectrometer com transformada de Fourier na Central de Análises do Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos da UFSC, em Florianópolis/SC.

As micrografias de MEV foram obtidas em um Microscópio de Varredura de Alta Resolução (JEOL modelo JSM-6701F) no Laboratório Central de Microscopia Eletrônica (LCME) da UFSC, em Florianópolis/SC.

As análises de difração de Raios-X (DRX) foram realizadas no Laboratório de Combustíveis Sólidos (LC) no Centro Tecnológico da SATC, em Criciúma/SC.

### **2.3 Caracterização do efluente bruto**

Para a caracterização do efluente bruto foram feitas análises físico-químicas, de DBO (Demanda Biológica de Oxigênio), DQO (Demanda Química de Oxigênio), turbidez, pH e cor aparente. Os testes foram realizados no Laboratório H<sub>2</sub>O, localizado em Criciúma/SC.

### **2.4 Síntese da bentonita organofílica**

A síntese da bentonita organofílica foi adaptada a partir do trabalho de Macuvele et al., (2017).

Para o processo de organofilização a bentonita foi desaglomerada por processamento mecânico em um agitador mecânico. Uma dispersão aquosa contendo 100 g de bentonita em um volume de água destilada de 1000 mL foi agitada por 4 horas com a velocidade de 1800 rpm. Após o processo de desaglomeração a dispersão foi seca em estufa a temperatura de 60 °C durante 24 horas. Após os procedimentos de secagem a dispersão foi desagregada em um moinho excêntrico (SERVITECH/CT- 242), com bolas de zircônia de 15 mm de diâmetro, durante 6 horas.

A bentonita desaglomerada foi submetida ao processo de intercalação por cátions de octadecilamônio utilizando uma solução contendo o composto octadecilamina (Argo 90%), protonado por ácido clorídrico (Vetec). Para protonar a octadecilamina, primeiro foi preparada uma suspensão de octadecilamina (300 mL de água), e em seguida uma quantidade estequiométrica (5-7 mL) de ácido clorídrico foi adicionado gota a gota e a solução resultante foi agitada durante 10 minutos. Em seguida foi seca novamente na

estufa a uma temperatura de 80°C por 24 horas e o resultado dessa operação foi a bentonita organofílica.

### 2.5 Testes de adsorção

Os testes de adsorção foram feitos em batelada, utilizando erlenmeyers de 125 mL, com uma amostra padrão preparada, de concentração conhecida de cor com corante têxtil, dissolvido em água deionizada. Para encontrar as melhores condições para adsorção, variaram-se os parâmetros pH, temperatura e a concentração de adsorvente (bentonita).

Todos os testes de adsorção foram feitos em banho termostático em baixa rotação. As análises foram feitas utilizando 100 mL da solução aquosa.

pH: os valores avaliados foram de 2,0 e 7,0 visto que Ozer e Ozcan (2010) revelou em seu estudo com adsorção em bentonita, que meios ácidos favorecem a adsorção, observando que com o aumento do pH há uma diminuição do material adsorvido, porém após o pH 7 tem um aumento discreto na adsorção do corante. O ajuste de pH será feito no início da operação, utilizando ácido clorídrico HCl 0,1 N e 1 N.

Concentração de adsorvente: de acordo com Araújo et al., (2015) as melhores concentrações de adsorvente para serem testadas utilizando 100 mL de amostra é de 0,5 g e 1,0 g de adsorvente (bentonita).

Temperatura: baseado em Oliveira (2015), a variação ocorrerá nas temperaturas de 25 °C, 30°C e 35 °C, que favorecem a adsorção.

De acordo com Chen et al. (2011), o tempo de contato entre o adsorvente com adsorvato se estabiliza próximo de 30 minutos. Então adotou-se esse tempo para a realização dos testes.

Após a realização de cada ensaio de adsorção, realizou-se a leitura do pH e da cor aparente no Laboratório de Química II, do curso de Engenharia Química da Faculdade Satc.

### 2.6 Adsorção em efluente real

Estabelecidos no item 3.6, o pH, temperatura e concentração de adsorvente ideais encontrados nos parâmetros anteriores, os testes foram realizados em batelada utilizando 100 mL do efluente bruto em banho termostático.

### 2.7 Planejamento experimental

Rodrigues e Iemma (2005) explicam que a metodologia do planejamento experimental surgiu como uma ferramenta para o auxílio na obtenção dos resultados de forma mais rápida e objetiva. Baseando-se em literatura específica, foram determinadas as principais variáveis de adsorção do corante têxtil investigadas por alguns autores. A obtenção de superfícies de respostas e modelos estatísticos foram realizados computacionalmente pelo software *Statistica da StatSoft*.

O planejamento experimental foi baseado na metodologia de pontos centrais. O resumo do planejamento utilizado está descrito na Tabela 1.

Tabela 1- Resumo do planejamento experimental.

Experimentos	pH	Concentração Bentonita (g)	Temperatura (°C)
1	2,00	0,50	25,00
2	7,00	0,50	25,00
3	2,00	1,00	25,00

4	7,00	1,00	25,00
5	2,00	0,50	35,00
6	7,00	0,50	35,00
7	2,00	1,00	35,00
8	7,00	1,00	35,00
9 ( C )	4,50	0,75	30,00
10 ( C )	4,50	0,75	30,00

Fonte: Do autor (2019)

### 3. Resultados e Discussão

Após realização dos experimentos e análise em laboratório, foi possível aplicar e discutir os resultados encontrados, com auxílio do *Software Estatística 7.0*.

#### 3.1 Caracterização físico-química do efluente têxtil

Na Tabela 2 constam os valores encontrados após análise físico-química realizada no Laboratório H<sub>2</sub>O, além dos valores máximos permitidos pelas legislações vigentes.

Tabela 2 - Caracterização do efluente bruto têxtil e valores máximos permitidos pela legislação.

Parâmetro	Valor	Unidade	CONAMA 357/05
pH	6,53	-	6,0 a 9,0
DQO	2900	mg/L	N.E
DBO	1858,61	mg/L	Até 60 mg/L O <sub>2</sub> (5 dias a 20°C)
Cor	1330,0	Hz	Até 75 Hz
Turbidez	136,0	UNT	Até 100 UNT (unidades nefelométrica de turbidez)

Fonte: Laboratório H<sub>2</sub>O (2019)

Baseado nos dados fornecidos na Tabela 2 é possível constatar que alguns dos parâmetros encontrados para o efluente têxtil ficaram em desacordo a legislação vigente. Destaca-se o parâmetro cor, pois o valor encontrado foi de 1330,0 Hz enquanto que o máximo permitido é de 75 Hz.

#### 3.2 Caracterizações da bentonita

A bentonita *in nature* e modificada foi caracterizada usando as seguintes técnicas: Espectroscopia na região de Infravermelho em Transformada de Fourier (FTIR), Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) e Difração de Raio-X (DRX).

A Figura 1 mostra os espectros de FTIR dos materiais de partida usados para produzir a bentonita organofílica: bentonita *in nature*, octadecilamina e da própria bentonita organofílica. Com base no espectro na região do infravermelho, observa-se que as mesmas bandas de octadecilamina aparecem ligeiramente deslocadas em organobentonita, esta observação reforça a tese de que não é apenas uma mistura entre a octadecilamina e a bentonita *in nature*, mas que houve alguma interação entre ODA e bentonita e isso é confirmado pelo ligeiro deslocamento de bandas no produto final (MACUVELE et al., 2017). Estas constatações confirmam a formação da bentonita organofílica após a mistura da octadecilamina com a bentonita *in nature*.

A Figura 2 mostra as micrografias obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) de algumas amostras de bentonita modificada com octadecilamina (M-ODA-1) e da bentonita não modificada (M-NT). A bentonita não tratada (M-NT) apresenta

aglomerados de dimensões entre 2 a 20  $\mu\text{m}$  e constituídos por placas maciças e curvas. Também apresenta um baixo contraste.

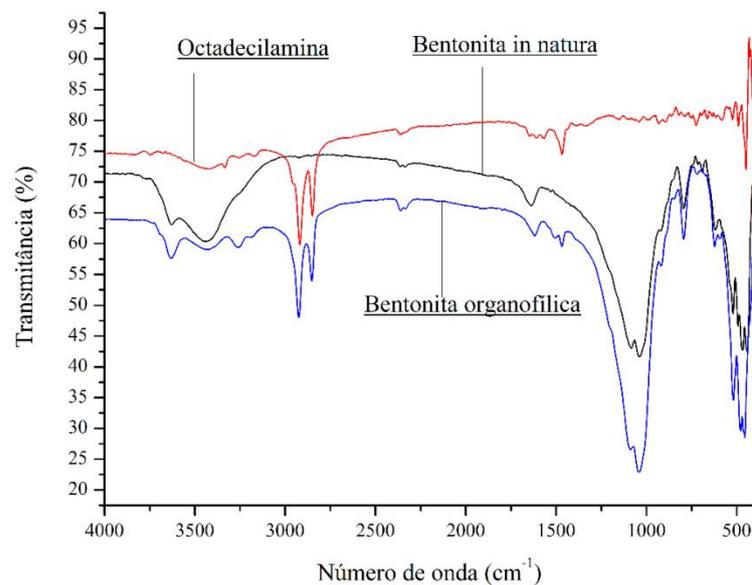


Figura 1 - Espectro de FTIR da octadecilamina, bentonita *in nature* e bentonita organofílica.  
Fonte: Do autor (2019)

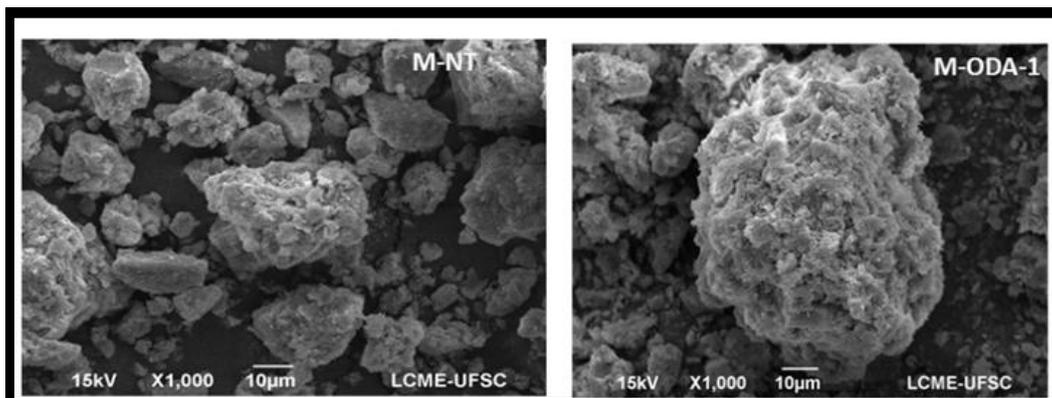


Figura 2 - Micrografias de bentonita *in nature* e da bentonita organofílica.  
Fonte: Do autor (2019)

As bentonitas tratadas com octadecilamina apresentam mudanças pronunciadas na morfologia (M-ODA-1). Comparando com a bentonita não tratada, a bentonita organofílica apresenta muitas partículas com dimensões inferiores a 1  $\mu\text{m}$  na forma de placas e aglomerados com dimensões superiores, próximas a 50  $\mu\text{m}$ . Estas diferenças são indicadores de que ocorreu o aumento do espaçamento das estruturas interlamelares das partículas de bentonita e proporcionou o aumento dos aglomerados. Com o aumento dos aglomerados ocorre simultaneamente o deslocamento de partículas com morfologia plana e de tamanhos pequenos (LEE; KIM, 2002).

A Figura 3 mostra os difratogramas (DRX) da bentonita *in nature* e da bentonita após a organofilização. Nos difratogramas da amostra de bentonita tratada com a octadecilamina verifica-se o deslocamento do ângulo para valores de ângulos menores (Figura 5). Esta característica está associada à expansão da região interlamelar pela intercalação do surfactante (BANIK et al., 2015).

Esta constatação corrobora com os dados obtidos com a espectroscopia na região de infravermelho. De acordo com os espectros de FTIR, verifica-se o aparecimento de novas bandas nas amostras da bentonita tratada com octadecilamina, a exemplo das bandas associadas ao modo vibracional de estiramento assimétrico e simétrico de  $\text{CH}_2$ .

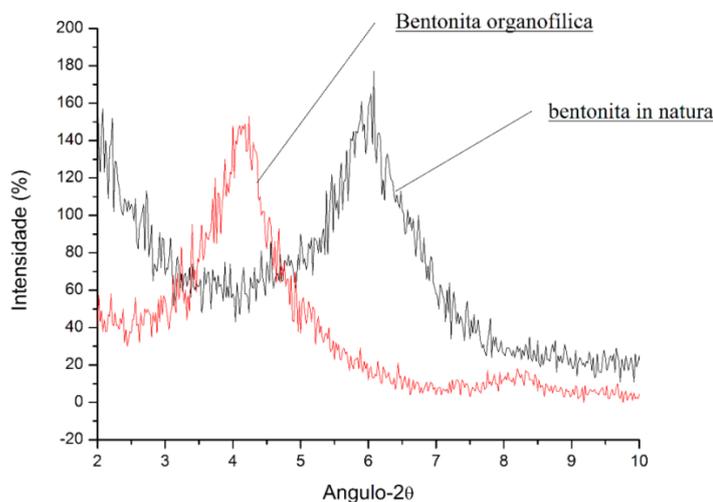


Figura 3 - Espectros de DRX das bentonitas.  
Fonte: Do autor (2019)

### 3.3 Ensaios de adsorção

Um dos objetivos do planejamento experimental foi avaliar as principais variáveis que influenciam na adsorção do corante têxtil azul marinho K-BF utilizando a bentonita. Sendo assim, foi realizado um planejamento fatorial fracionário  $2^3$  com 2 pontos centrais, totalizando 10 experimentos. Os ensaios foram realizados para avaliar a capacidade de adsorção da bentonita organofílica na remoção de contaminantes (corante têxtil) em fase líquida.

As variáveis investigadas foram a concentração de adsorvente, a temperatura e pH. O estudo de Duarte Neto et al., (2014) demonstra a importância desses parâmetros para a adsorção utilizando bentonita. Após a análise, calcularam-se os percentuais de capacidade de adsorção, descritos na Tabela 3.

Tabela 3 - Resultados do planejamento experimental.

Concentração (g)	Temperatura (°C)	pH	Capacidade de adsorção (%)
0,50	25,00	2,00	14,08
0,50	25,00	7,00	13,80
1,00	25,00	2,00	18,03
1,00	25,00	7,00	15,77
0,50	35,00	2,00	69,80
0,50	35,00	7,00	58,55
1,00	35,00	2,00	89,17
1,00	35,00	7,00	76,51
0,75	30,00	4,50	64,41
0,75	30,00	4,50	64,38

Fonte: Do autor (2019)

Durante a realização dos ensaios, notou-se uma melhora significativa da coloração da amostra, que iniciou com um azul marinho escuro e após o tratamento obteve-se coloração azul clara e límpida.

A Tabela 4 apresenta a análise de variância, ANOVA, que visa verificar se existe uma diferença significativa entre as médias e se os fatores exercem influência em alguma variável dependente.

Tabela 4 - Valores de análise de variância (ANOVA), modelo com coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,91.

	Soma Quadrática(ss)	Grau de liberdade (df)	Média Quadrática(MS)	Fator (F)	<i>p-level</i> ( <i>p</i> )
(1) pH	87,450	1	87,450	0,27517	0,652228
(2) Concentração - BO	233,820	1	233,820	0,73574	0,481410
(3) Temperatura (°C)	6748,315	1	6748,315	21,23420	0,044008
1·2	1,437	1	1,437	0,00452	0,952514
1·3	57,085	1	57,085	0,17962	0,712929
2·3	123,324	1	123,324	0,38805	0,596892
1·2·3	0,041	1	0,041	0,00013	0,992007
Erro	635,608	2	317,804		
Total SS	7887,079	9			

Fonte: Do autor (2019)

Para considerar o parâmetro no modelo matemático, ele deve apresentar *p-level* inferior a 0,05 e de acordo com os resultados apresentados, é possível verificar que apenas a temperatura influencia significativamente a capacidade de adsorção, isso porque foi o único parâmetro que apresentou *p-level* inferior a 0,05. Que quanto maior for a temperatura maior é a capacidade de adsorção. Araujo et al., (2009), reforça que a melhor capacidade de adsorção aumenta simultâneo com o aumento da temperatura, o que significa que o aumento de energia favorece a adsorção na superfície da argila, este efeito pode ser em razão de que com o aumento da temperatura da solução aumenta a mobilidade das moléculas e, portanto, facilita a difusão do corante na argila.

O diagrama de Pareto apresenta de forma rápida e clara os efeitos que são estatisticamente fundamentais. Os efeitos cujos retângulos estiverem à direita da linha divisória ( $p = 0,05$ ) devem ser considerados o modelo matemático.

Neste trabalho, o Diagrama de Pareto na Figura 4 mostra que o termo linear de temperatura é estatisticamente mais importante que todos os termos, sugerindo desta forma que apenas esse termo deve ser considerado no modelo matemático.

O modelo apresenta uma boa correlação com seus dados, já que o valor de  $R^2$  é de 0,91. Esse valor pode ser confirmado pelo gráfico de valores observados por valores preditos ilustrados na Figura 5. Uma vez que os desvios-padrão dos parâmetros que ilustra foram menores que os próprios, os dados estão muito próximos da linha reta, caracterizando um ajuste satisfatório.

Os resultados apresentados anteriormente podem também ser visualizados através de uma superfície, chamada Superfície de Resposta. As curvas de nível, obtidas através da

opção “Contour” do *Software Statistica*, fornece uma análise da tendência de resposta da variável dependente. Cada linha tem um mesmo valor da variável de resposta. Quando essas linhas não têm curvatura, pode-se dizer que não há efeito de interação entre as variáveis colocadas nos eixos.



Figura 4 - Diagrama de Pareto em função dos valores da estatística de teste t.  
Fonte: Do autor (2019)

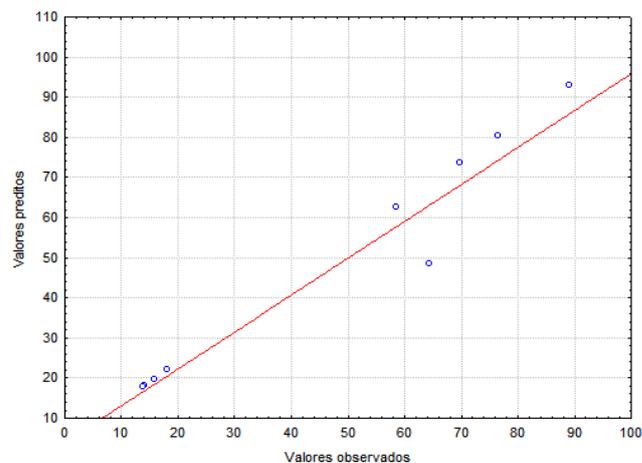


Figura 5 - Gráfico de valores observados por valores preditos.  
Fonte: Do autor (2019)

Através do gráfico de superfície resposta, Figura 6a, pode-se observar que a concentração de adsorvente e o pH não influenciaram nos resultados do processo, pois é possível notar que não há variação da capacidade de adsorção.

Em contrapartida, ao avaliar-se a Figura 6b a influência da temperatura, é possível notar a formação de uma curva, onde a capacidade de adsorção apresentou os melhores resultados.

Pode-se notar que para os níveis observados, somente o termo linear temperatura, foram relevantes estatisticamente, conforme Tabela 5, visto que o valor do *p-level* foi inferior a 5%.

Neste caso o modelo matemático será representado pela Eq. (1).

$$\text{Adsorção} = 48,45 + 29,04.T(2) \quad (1)$$

Onde:

T(2) = Temperatura (°C).

Analisando os valores de desvios-padrão, observa-se que eles são menores do que o valor real dos efeitos e dos parâmetros, validando assim o modelo matemático proposto. O coeficiente de determinação é elevado e próximo de 1 ( $R^2 = 0,91$ ).

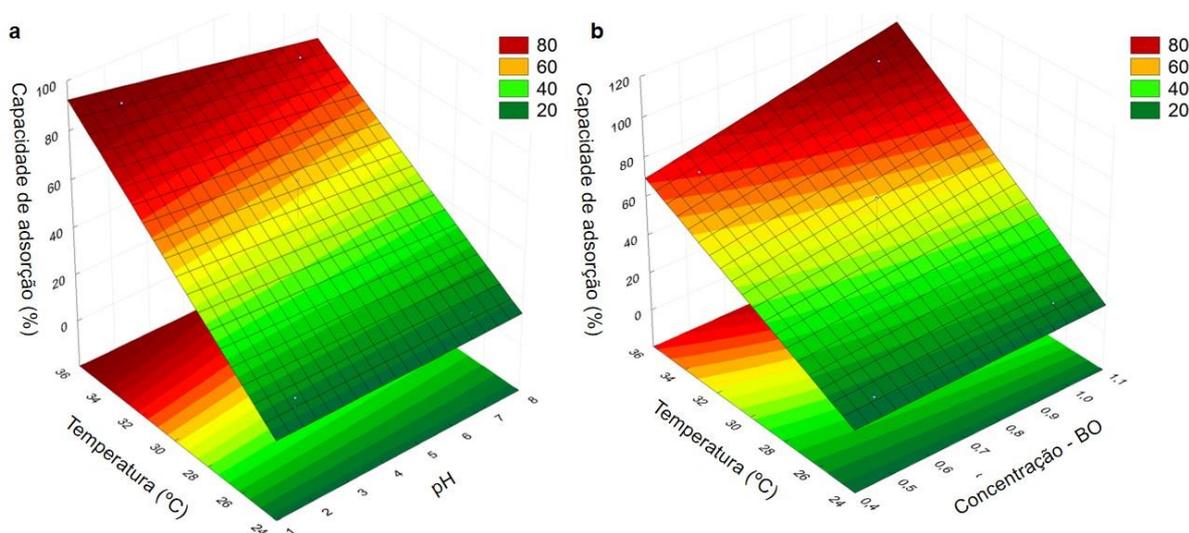


Figura 6 - Gráfico de superfície de resposta (temperatura x pH) na adsorção de corante através da bentonita (a). Gráfico de superfície de resposta (concentração x temperatura) na adsorção de corante através da bentonita (b).

Fonte: Do autor (2019)

#### 4. Conclusões

Os estudos dos ensaios de adsorção se mostraram promissores, obtendo percentual de adsorção de 89,18 % na temperatura de 35 °C, concentração de adsorvente bentonita de 1,0 g e pH de 2. Além disso, todos os ensaios com temperatura acima da temperatura ambiente (25 °C) obtiveram percentual de remoção de no mínimo 58,55 %.

O estudo estatístico demonstrou que a temperatura é o único parâmetro determinante na adsorção do corante azul marinho K-BF utilizando bentonita. Sendo que a temperatura ideal que se estabeleceu neste estudo foi de 35 °C. A idealidade da temperatura, se dá devido a aceleração das moléculas, facilitando a incorporação do corante na bentonita organofílica.

Diante do exposto, a bentonita organofílica se mostrou eficiente na remoção do corante têxtil, contribuindo em seu tratamento e tornando-se uma possibilidade de grande potencial.

A partir dos resultados apresentados e discutidos, pode-se propor que na continuação deste trabalho sejam realizados os seguintes estudos: utilizar outros adsorventes e avaliar a adsorção em metais e outros tipos de corantes; avaliar outros parâmetros, como maior massa de adsorvente e um maior tempo de contato; utilizar a centrífuga para retirar os interferentes durante a leitura da cor, após o ensaio de adsorção; estudar tratamento em coluna de adsorção e análise de custos para aplicação industrial.

## Referências

**ARAÚJO, A. L. P. de; et al.** *Estudo termodinâmico da adsorção de zinco em argila bentonita calcinada.* Scientia Plena. 5(12):1-6, 2009. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/277160116\\_Estudo\\_Termodinamico\\_da\\_Adsorcao\\_de\\_Zinco\\_em\\_Argila\\_Bentonita\\_Bofe\\_Calcinada](https://www.researchgate.net/publication/277160116_Estudo_Termodinamico_da_Adsorcao_de_Zinco_em_Argila_Bentonita_Bofe_Calcinada)> Acesso em: 03 de outubro de 2018

**BANIK, N.; JAHAN, J.; MOSTOFA, S.; KABIR, H.; SHARMIN, N.; RAHMAN, M. & AHMED, S.** *Synthesis and characterization of organoclay modified with cetylpyridinium chloride.* Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research, Bangladesh, v.50, n.1, p. 65-70. 2015. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/281573782\\_Synthesis\\_and\\_characterization\\_of\\_organoclay\\_modified\\_with\\_cetylpyridinium\\_chloride](https://www.researchgate.net/publication/281573782_Synthesis_and_characterization_of_organoclay_modified_with_cetylpyridinium_chloride)> Acesso em: 15 de novembro de 2018.

**CHEN, D.; et al.** *Characterization of anion-cationic surfactants modified montmorillonite and its application for the removal of methyl orange.* Chemical Engineering Journal. Beijing, v.171, n.3, p. 1150-1158, jul. 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894711005602>> Acesso em: 15 de março de 2019.

**DIAS, M.** *Estabilidade à radiação UV em estamperia do corante natural de urucum adsorvido em argila caulim.* 2010. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/93707>> Acesso em: 26 de setembro de 2018.

**DNPM.** Departamento Nacional de Produção Mineral. *Bentonita.* Sumário Mineral, 2014. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br> Acesso em: 03 out. de 2018.

**DUARTE NETO, J. F.; et al.** *Processos de adsorção de corantes em argilas esmectíticas: uma revisão.* Revista Eletrônica de Materiais e Processos. Campina Grande, v.9, n.1, p.51-59, jul. 2014. Disponível em <<http://www2.ufcg.edu.br/revista-remap/index.php/REMAP/article/view/429>>. Acesso em 28 de agosto de 2018.

**HO, Y. & OFOMAJA, A.** *Pseudo second order model for lead ion sorption from aqueous solutions onto palm kernel fiber.* Journal of Hazardous Materials. Beijing, v. 129, n.1-3, p. 137-142, fev. 2006. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389405005066>> Acesso em: 01 de outubro de 2018.

**LEE, S. Y. & KIM, S. J.** *Expansion characteristics of organoclay as a precursor to nanocomposites.* Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. Seoul, v. 211, n. 1, p. 19–26, jun. 2002. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/223692730\\_Expansion\\_characteristics\\_of\\_organoclay\\_as\\_a\\_precursor\\_to\\_nanocomposites](https://www.researchgate.net/publication/223692730_Expansion_characteristics_of_organoclay_as_a_precursor_to_nanocomposites)> Acesso em: 03 de outubro de 2018.

**LIMA, R. B.** *Processo para a produção de carvão ativo a partir do subproduto resultante da lixívia alcalina da cinza da casca do arroz.* 2010. 111f. Dissertação (Mestrado em engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/94292>> Acesso em: 27 de agosto de 2018.

**LUIS, P. M. S. S.** *Remoção de cor em efluentes têxteis por adsorção em materiais inorgânicos de origem natural*. 2009. 221 f. Dissertação (Mestrado em engenharia do Ambiente) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2009. Disponível em: < <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/59667/1/000130703.pdf> > Acesso em: 02 de outubro de 2018.

**MACUVELE, D. L. P.; et al.** *Simultaneous effect of reaction temperature and concentration of surfactant in organo-bentonite synthesis*. Materials Science Fórum. Switzerland, v.899, p. 42-47, jul. 2017. Disponível em: < <https://www.scientific.net/MSF.899.42> > Acesso em: 25 de agosto de 2018.

**OLIVEIRA, M. F. D.** *Remoção de corantes têxteis em solução aquosa utilizando bentonita natural e organofílica*. 2015. 86 f. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015. Disponível em: < <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/20384> > Acesso em:

**OZER, G.; OZCAN, S. & OZCAN, A.** *Adsorption behavior of a textile dye of reactive blue 19 from aqueous solutions onto modified bentonite*. Applied Surface Science, v.256, n.17, p. 5439-5443, Jun. 2010. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016943320901856X> > Acesso em: 15 de fevereiro de 2019.

**PAIVA, L. B.; MORALES, A. R. & DÍAZ, F. R.** *Organoclays: Properties, preparation and applications*. Applied Clay Science, Campina Grande, v.42, n.1-2, p. 8-24, Dez. 2008. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169131708000495> > Acesso em: 07 de setembro de 2018.

**RODRIGUES, M. T. & IEMMA, A. F.** *Planejamento de Experimentos e Otimização de processos: Uma estratégia sequencial de planejamentos*. Campinas: Casa do Pão Editora, 2005.

**SILVA, L. A.** *Desenvolvimento do processo de obtenção da bentonita organofílica de moçambique: síntese e caracterização*. 2010. 65 f. Dissertação (Mestrado em engenharia química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010. Disponível em:<<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/103326>> Acesso em: 03 de outubro de 2018.