

Avaliação do uso de casca de maracujá (*passiflora edulis*) quimicamente modificadas na remoção de cor de efluente têxtil

*Evaluation of the use of passion fruitbark (*passiflora edulis*)
chemically modified in the removal of textile effluent color*



Willian Geraldo da Silva

Graduando do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária (UNIPAM).
e-mail: williang18@hotmail.com

Dayene do Carmo Carvalho

Doutora em Química pela UFU. Professora do UNIPAM. E-mail: dayenecc@unipam.edu.br

RESUMO: O objetivo do trabalho foi avaliar as propriedades adsorptivas das cascas do maracujá (*passiflora edulis*) modificadas quimicamente, visando o tratamento de efluente têxteis. A fim de se realizar um estudo sobre os efeitos de parâmetros importantes na biossorção de efluentes têxteis, três agentes foram testados em um planejamento fatorial 2^3 (massa (g) tempo (min) e pH). Os testes foram realizados em regime de batelada e em triplicata, as biomassas foram modificadas com ácido clorídrico (HCl) e hidróxido de sódio (NaOH). Os resultados mostraram que várias interações entre os fatores se mostraram significantes. Analisando a contribuição de cada fator, concluiu-se que as melhores condições operacionais foram obtidas na configuração do binômio massa x tempo para a casca de maracujá modificada com base (CB). Nestas condições, a eficiência de remoção mostrou-se superior a 66%, o que torna o processo de biossorção ainda mais interessante no tratamento de efluentes têxteis.

PALAVRAS-CHAVE: Adsorção. Maracujá. Efluente.

ABSTRACT: The objective of this work was to evaluate the adsorptive properties of the peel and seeds of passion fruit (*Passiflora edulis*) chemically modified, aiming at the treatment of textile effluent. In order to carry out a study on the effects of important parameters in the biosorption of textile effluents, three agents were tested in a factorial design 2^3 (mass (g), time (m) and pH). The tests were carried out in batch mode and in triplicate; the biomasses were modified with HCl and NaOH. The results showed that interactions among the factors were significant. Analyzing the contribution of each factor, it was concluded that the best operating conditions were obtained in the configuration of the binomial pH x mass for passion fruit seed modified with acid. Under these conditions, the removal efficiency was higher than 75.55%, which makes the biosorption process even more interesting in the treatment of textile effluents.

KEYWORDS: Adsorptive. Passion fruit. Effluents.

1. INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos, as atividades industriais cresceram descontroladamente, gerando problemas devido à eliminação dos efluentes com alta carga contaminante. Estes, quando não são tratados adequadamente, comprometem substancialmente o ambiente, visto que nem sempre há políticas efetivas que indiquem o descarte e/ou tratamento destes tóxicos com potencial de contaminação (CUNHA, 2014). O segmento têxtil é de grande participação neste cenário, como agente poluidor, pois as indústrias têxteis utilizam em seu processo produtivo água, corantes e produtos químicos, gerando efluentes potencialmente poluidores, com elevada carga orgânica, cor acentuada e compostos tóxicos (ROYER, 2008).

Na indústria têxtil, a água é a matéria-prima mais utilizada na manufatura dos produtos. Assim, os despejos ricos em substâncias orgânicas constituem uma enorme preocupação, sobretudo quanto aos materiais sintéticos e aos metais pesados. Tais resíduos, decorrentes de transformações químicas, devem então ser eliminados e receber tratamento da melhor forma possível em termos de harmonia com o meio ambiente (ANDRADE, 2003).

Do ponto de vista ambiental, a poluição de efluentes por corantes sintéticos é um grande problema, uma vez que alguns corantes e seus produtos de degradação podem ser tóxicos e afetar as atividades de fotossíntese, devido à redução da penetração da luz solar, conseqüentemente reduzindo a atividade fotossintética (SILVA, 2012).

Os efluentes contaminados devem passar por um tratamento para serem descartados de maneira segura no meio ambiente (BONIOLO, 2008). Existem diversas formas de remover a cor de efluentes têxteis, e os processos mais utilizados são a coagulação/floculação, a oxidação e a adsorção através da adição de inúmeros auxiliares químicos. Esses processos são bastante agressivos ao meio ambiente, os quais geram uma quantidade excessiva de lodo físico-químico composto essencialmente de corantes, sulfato de alumínio, sulfato ferroso, cal e polímeros (ANDRADE, 2003).

Uma boa proposta de tratamento para esses resíduos seria o processo de biossorção, que tem sido relatado como um excelente método para tratar efluentes contendo corantes, oferecendo significantes vantagens em relação aos métodos convencionais (BORBA, 2006). Dentre os biossorventes naturais, destacam-se as cascas e sementes de frutas ou partes de vegetais, que podem ser utilizados como biossorventes para a retenção de elementos potencialmente tóxicos (OLIVEIRA e SILVA, 2011).

Dentre os adsorventes naturais, destacam-se os resíduos do maracujá, sendo o Brasil hoje um grande produtor e exportador dessa fruta. Os principais subprodutos da extração do suco de maracujá são as cascas e as sementes (óleo e torta da extração do óleo), resultantes do processamento do fruto, geralmente não aproveitados, tornando-se um grande problema ambiental (SAMICO, 2010). A minimização do descarte dos resíduos do maracujá é o seu uso como adsorvente, uma

vez que reduz o impacto poluidor que poderia ser ocasionado pelo acúmulo desse material. Além disso, a casca poderá ser usada no tratamento de efluentes.

Assim, o presente trabalho teve como objetivo central avaliar as propriedades adsorptivas das cascas de maracujá (*passiflora edulis*), visando a remoção de cor de efluente de indústrias têxteis, a fim de subsidiar a proposição de alternativas de tratamento com um baixo custo comparado aos sistemas físico-químicos tradicionais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. OBTENÇÃO DA BIOMASSA

As cascas de maracujá utilizadas nesse trabalho foram fornecidas pela empresa Novo Pomar Produtos Alimentícios (Frutpres), empresa de beneficiamento de polpa de frutas, localizada na cidade de Presidente Olegário, região do Alto Paranaíba-MG e encaminhadas para o Laboratório da Engenharia Química do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM).

2.2. PREPARO CASCAS DE MARACUJÁ

Após a obtenção do material, este foi cortado em pedaços de 3 a 4 cm e dispostas à secagem natural, por 24 horas. Logo após, foram levados para estufa, com temperatura de 50° C, onde permaneceram por 72 horas, e posteriormente, o material foi triturado em um liquidificador caseiro. Em seguida, passaram por um processo de peneiras, em que o material com granulometria menor que 9 *mesh* foi utilizado.

Para avaliar a capacidade de adsorção dos materiais para remoção dos corantes têxteis presentes em soluções aquosas, foram realizadas modificações químicas com a biomassa *in natura*.

2.3. MODIFICAÇÃO DOS MATERIAIS COM NaOH E HCl

Depois de secas, as cascas de maracujá foram pesadas em uma balança analítica (cerca de 200g de massa já triturada), e soluções de HCl e NaOH foram preparadas na concentração de 1,0 mol.L⁻¹. Após pesada a biomassa e preparadas as soluções, foram colocados em béquer de 500ml a biomassa (casca de maracujá) e as soluções preparadas. Estes foram deixados em agitação de 175 rpm durante uma hora em temperatura ambiente. A dispersão foi filtrada e o material úmido, seco em estufa na faixa de 50 e 60° C por 72 horas.

Para melhor entendimento, as amostras foram nomeadas de acordo com tipo de tratamento: CA, para casca de maracujá tratada com HCl, e CB, para casca de maracujá tratada com NaOH. As biomassas foram identificadas e armazenadas em frascos de polietileno ao abrigo de luz, umidade e calor.

2.4. DETERMINAÇÃO DO PONTO CARGA ZERO

Para encontrar o ponto de carga zero, foram preparadas soluções a partir de diluições de ácido HCl 1,0 mol/L e básicas partir de diluições da solução de NaOH 1,0 mol/L, já que ambos os reagentes possuem atividade próxima a sua concentração. Os pHs de cada solução foram ajustados nas faixas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11 e 12, com auxílio do pHmetro (modelo Tecnal® TEC2). Posteriormente, foram misturadas 50 mg das biomassas com 50 mL de solução aquosa sob diferentes condições de pH inicial (1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11 e 12). Após 24 horas de equilíbrio, foi aferido o pH final.

2.5. COLETA DOS EFLUENTES

Os ensaios foram realizados com efluentes coletados de indústrias têxteis localizadas na cidade Patos de Minas/MG. As amostras foram coletadas em recipientes de polietileno e armazenadas em um refrigerador à 4° C, para preservar as características do material, no Laboratório de Química Geral do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM).

2.6. ESTUDO DE REMOÇÃO

O comprimento de onda de máxima absorbância do efluente foi determinado através de varredura em espectrofotômetro UV-VIS (Thermo Spectronic). Em seguida, foram realizadas as leituras do efluente bruto em cubetas de vidro com comprimento de onda máximo determinado. Assim foi realizado o seguinte cálculo para avaliar a % remoção, conforme Equação 1:

$$\text{Descoloração (\%)} = \frac{(\text{Absi} - \text{A}_{\text{mo}}) \times 100}{\text{Absi}} \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:

A_{bsi} = Absorbância do efluente bruto

A_{mo} = Absorbância da amostra

2.7. PLANEJAMENTO FATORIAL

As condições experimentais para biossorção da cor do efluente têxtil foram determinadas por meio de planejamento experimental a fim de se obterem as condições ótimas do experimento. As variáveis analisadas foram: pH da solução, tempo de contato (min) e massa (g). Assim sendo, o experimento pode ser caracterizado como fatorial 2³, em que as variáveis foram realizadas em triplicata, em regime batelada. A Tabela 1 apresenta as variáveis analisadas no estudo.

TABELA 1. Variáveis e níveis estudados no planejamento fatorial 2³

Variáveis	Níveis		
	+	0	-
pH	2	6	10
Massa adsorvente (g)	0,1	0,5	1
Tempo (min)	10	18	30

Os experimentos foram realizados de forma aleatória, e a resposta estudada foi a quantidade em porcentagem da absorbância de cor, realizada em um espectrofotômetro UV-VIS (Thermo Spectronic). A matriz de planejamento está apresentada na Tabela 2.

TABELA 2. Matriz de planejamento para um fatorial 2³ aplicado ao estudo de remoção de corantes em efluentes têxteis

Ensaio	pH	Massa	Tempo
1	-	-	-
2	-	-	+
3	-	+	-
4	-	+	+
5	+	-	-
6	+	-	+
7	+	+	-
8	+	+	+
9	0	0	0

Para o estudo fatorial, foram adicionadas as quantidades de cascas de maracujá pré-estabelecidas no planejamento em 50,0 mL de efluentes. Os valores de pH (2, 6 e 10) foram corrigidos e ajustados com HCl (ácido clorídrico) e NaOH (hidróxido de sódio) 1,0 mol L⁻¹, com auxílio de pHmetro (modelo, Tecnal® TEC2). As soluções foram agitadas em uma mesa agitadora (modelo, Tecnal® TEC2), com uma velocidade de rotação de 175 rpm. Posteriormente foram filtradas.

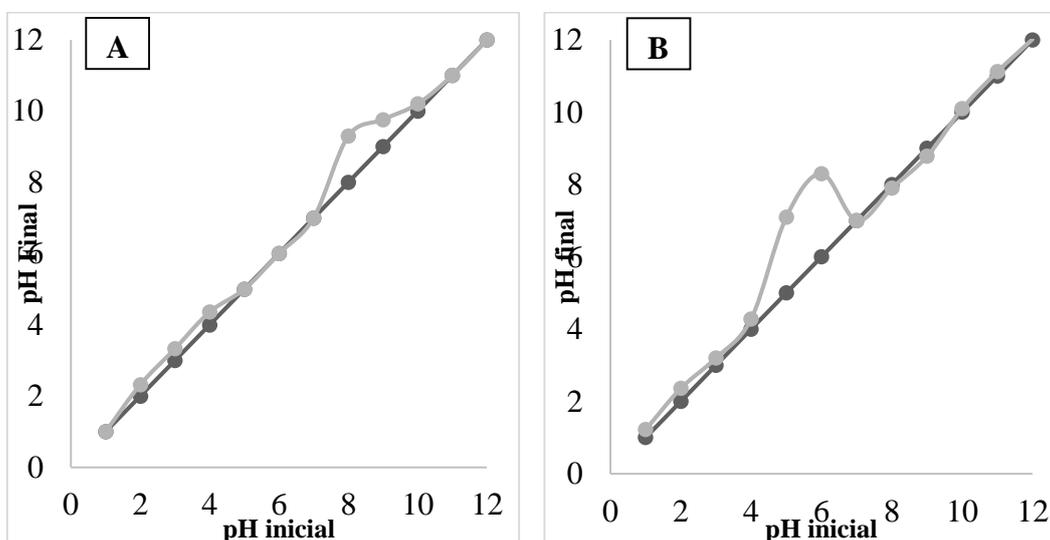
As análises do filtrado obtido do tratamento com as amostras foram realizadas por espectrofotômetro UV-VIS (*Thermo Spectronic*), a fim de se verificar a remoção de cor. A capacidade de biossorção do material foi, de acordo com a equação, a equação 2. Os gráficos e os cálculos foram realizados com o software estatístico *STATISTIC 7.0*.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. PONTO DE CARGA ZERO

Primeiramente, obteve-se a caracterização do ponto de carga zero (PCZ). Os resultados foram expressos por meio do gráfico valor de pH_{PCZ} final versus pH_{PCZ} inicial, sendo que o pH_{PCZ} corresponderá à faixa em que o pH_{PCZ} final se mantiver constante (independentemente do pH inicial), ou seja, a superfície comporta-se como um tampão. Na Figura 1, demonstra-se o PCZ do biossorvente cascas de maracujá modificadas.

FIGURA 1. Representação dos pH_{PCZ} da (A) Casca de maracujá modificada com NaOH e (B) casca de maracujá modificada com HCL



Fonte: Autores, (2016)

É possível observar na Figura 1A (casca de maracujá modificada com NaOH) uma faixa praticamente constante que ocorre entre os pH 9,3 e 9,8. Nesta região, a carga total da superfície do biossorvente é nula, em que é denominado o pH_{PCZ} para a casca do maracujá modificada com NaOH (CB). Assim, é possível observar que em pH maior que 9,8, a casca de maracujá apresenta-se negativamente carregada, possuindo a habilidade de adsorver espécies positivamente carregadas, enquanto que em pH menor do 9,3, o material encontra-se positivamente carregado e irá adsorver espécies negativas.

Observou-se na Figura 1B (casca de maracujá modificada com HCL) que a faixa constante está entre os pH 7 e 8,3, representando seu pH_{PCZ} casca de maracujá modificada com HCl (CA).

Honorato *et al.* (2015), estudando mandioca *in natura* como biossorvente do

corante reativo 5g, encontrou ponto de carga zero 5,2 para sua biomassa, mostrando um valor distante do deste estudo. Cunha (2014) teve um valor discrepante ao encontrado neste estudo: o autor investigou a capacidade adsorptiva da casca de arroz modificada com ácido fosfórico para remover cor de efluente. Ele obteve resultado de pH 3,2 e 1. Esses valores contraditórios podem ser explicados devido às características das biomassas, bem como o tipo de seu tratamento.

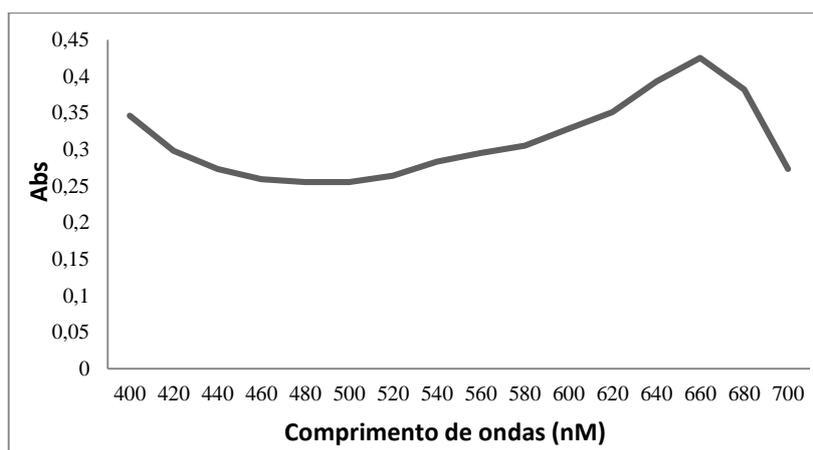
Mimura et al. (2010) estudaram a capacidade de adsorção pela casca de arroz perante o efeito de espécies metálicas. O pH_{PCZ} da casca de arroz foi próximo de 7, porém, em seu estudo não avaliou apenas a adsorção do íon metálico em relação à natureza da superfície do biossorvente, pois o pH de efluentes gerados em indústrias contendo espécies metálicas podem em algumas situações ficar entre 3 e 6.

Considerando que a superfície da casca de arroz apresentou um pH_{PCZ} igual a 7, deve-se esperar que para valores de pH muito menores que este, os grupos superficiais ionizáveis estarão protonados, gerando uma carga líquida positiva que pode causar a repulsão entre a superfície e os cátions em solução, desfavorecendo assim a adsorção.

3.2. CARACTERIZAÇÃO DA CURVA ANALÍTICA

Para a caracterização da curva analítica, foram preparadas soluções do corante em diferentes concentrações quantitativas fixadas, e com o auxílio de espectrofotômetro UV-Visível- Thermo Spectronic, o comprimento de onda para absorção máxima do efluente bruto foi caracterizado, conforme figura 2.

FIGURA 2. Caracterização do efluente *in natura*



Fonte: Autores, (2016)

Conforme representado na figura 2, o comprimento de maior absorbância foi de 660 nm, sendo que este constituiu a faixa utilizada para avaliar a remoção de cor em que os experimentos foram conduzidos. No procedimento de cálculo de

porcentagem de remoção, este foi utilizado durante todos os testes no presente trabalho, para garantir que as variações fiquem relacionadas apenas à remoção e não à leitura diária do equipamento.

Silva et al. (2012) encontraram valor máximo de absorvância próximo ao encontrado neste estudo. Os autores, caracterizando o corante azul remazol, encontraram o comprimento de máxima absorvância ($\lambda_{\text{máx}}$), em torno de 595nm, na região do visível,

3.3. PLANEJAMENTO FATORIAL

O uso de planejamento experimental em um processo permite verificar todas as combinações possíveis de vários níveis dos fatores (ou variáveis) estudados, evitando os experimentos tradicionais em que os fatores são variados um de cada vez (BARROS *et al.*, 2003).

Ainda nesse contexto, a biossorção em um sistema de batelada geralmente depende de vários fatores, tais como massa do biossorvente (m), acidez do meio (pH), tempo de contato e o biossorvente (t), dentre outras. A otimização de todas essas variáveis utilizando-se o procedimento univariado é morosa, pois para qualquer variável que é otimizada é necessário variar um fator por vez, fixando-se todos os demais. Dessa forma, o melhor valor obtido para esse fator é fixado, e os outros fatores vão ser otimizados sequencialmente, um a um. Além disso, o número total de experimentos a serem realizados no procedimento univariado é muito maior, quando comparado com o planejamento estatístico de experimentos (BRASIL *et al.*, 2007). Partindo desse pressuposto, optou-se por utilizar o planejamento fatorial de modo a otimizar o experimento.

Na Tabela 3 são apresentadas as médias dos resultados da análise dos ensaios adsorção do efluente têxtil para as biomassas CA e CB, utilizando-se as variações tempo de contato (mim), massa (g) e pH.

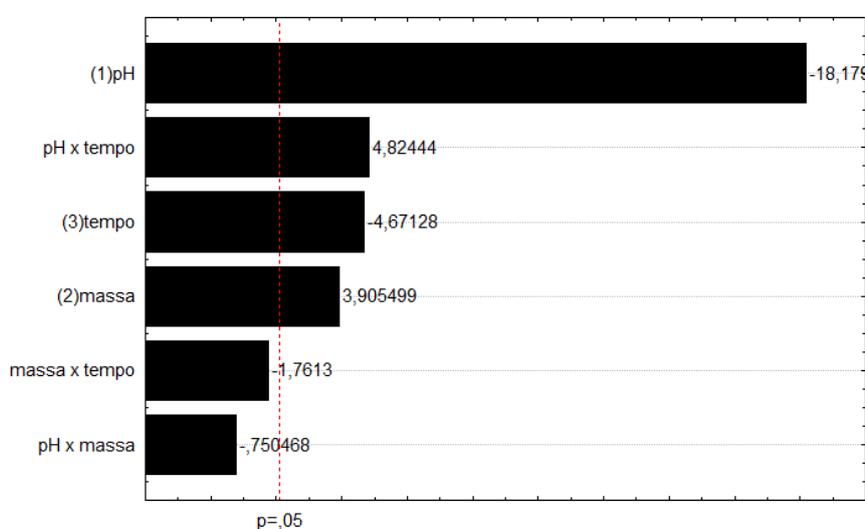
TABELA 3. Media dos resultados dos experimentos do planejamento fatorial com biomassa CA* (Casca de maracujá modificada com HCl) e CB* (Casca de maracujá modificada com NaOH) variando-se tempo de contato (mim), massa (g) e pH

Ensaio	pH	Massa	Tempo	Absorvância (%)CA*	Absorvância (%)CB*
1	-	-	-	54,00	45,00
2	-	-	+	51,00	66,00
3	-	+	-	59,00	58,00
4	-	+	+	51,00	51,00
5	+	-	-	43,00	43,00
6	+	-	+	43,00	60,00
7	+	+	-	44,00	45,00
8	+	+	+	45,00	46,00
9	0	0	0	54,00	45,00

Analisando a Tabela 3, pode-se observar que as melhores situações de remoção de cor neste efluente foram o experimento 3 para o CA e 2 para CB, e ambas situações têm uma coisa em comum: o pH em meio ácido.

A partir da matriz-resposta do planejamento fatorial (Tabela 3), foram gerados gráficos de Pareto para verificar a significância de suas interações nas respostas consideradas. Os gráficos de Pareto para a biomassa casca de maracujá modificada com ácido estão apresentados na Figura 3.

FIGURA 3. Gráfico de Pareto para os efeitos padronizados em $p=0,05$. "A" CA (Casca de maracujá modificada com HCl)



Fonte: Autores, (2016)

Analisando-se a Figura 3, pode-se inferir que o pH foi a variável mais importante do processo global da biossorção do corante, seguido pela interação pH x tempo. O valor negativo atribuído para massa denota que quanto menor for o pH, isto é, em meio ácido, melhores serão as porcentagens de remoção.

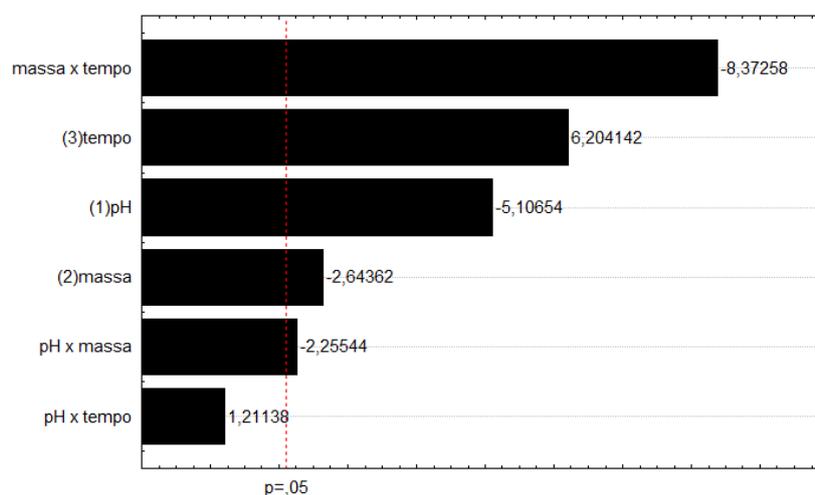
Este resultado corrobora com o pH_{pcz}, o qual justifica a interação entre o adsorvato e o adsorvente, em razão do caráter catiônico efluente têxtil com a superfície negativa dos adsorventes.

Analisando a Figura 4 (na página seguinte), observa-se que a interação entre as variáveis massa e tempo foi a interação mais importante para o processo de remoção. Segundo Brasil *et al.*, (2007), somente a aquisição dessa informação justifica o uso de planejamento estatístico de experimentos sobre o procedimento convencional de otimização univariada. Essa informação jamais teria sido obtida em uma otimização univariada do processo de biossorção.

O segundo fator mais importante foi o tempo, seguido pelo pH. Corroborando com a Figura 3 (CA) foi observado também na Figura 4 (CB) o valor negativo para a variável pH. Dessa maneira, denota-se que seu aumento provoca a diminuição da quantidade de corante removida, demonstrando assim maior interação

entre os ânions do corante com a superfície positivamente carregada da biomassa no meio ácido (SCHIMMEL, 2008).

FIGURA 4. Gráfico de Pareto para os efeitos padronizados em $p=0,05$. "A" CA (casca de maracujá modificada com HCL)



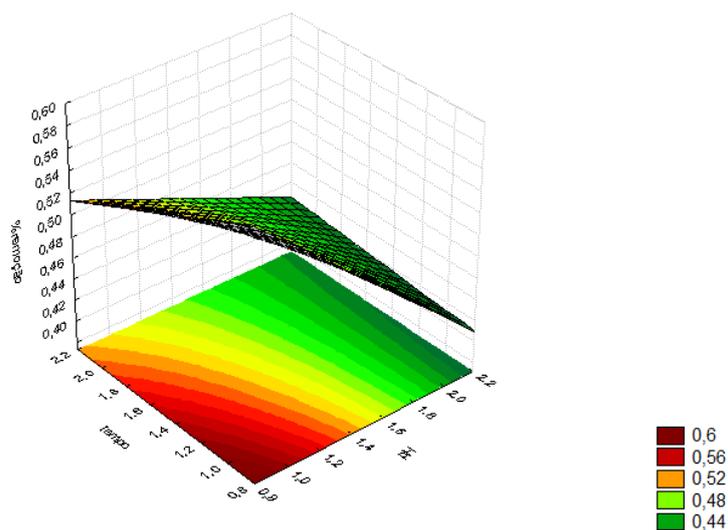
Fonte: Autores, (2016)

Analisando os dois gráficos (Figura 3 e 4) de uma maneira geral, é possível inferir que as variáveis que demonstraram maior interação apresentaram-se com valores negativos. Esse sinal negativo indica que à medida que esses fatores aumentam, ocorre um decréscimo na variável resposta. Fazendo um paralelo com as duas biomassas modificadas (CA e CB), é possível observar uma maior tendência delas para o ambiente ácido. Resultado parecido com o deste estudo foi observado por Rocha *et al.* (2012), que estudaram o mesocarpo de coco verde para remoção de corantes cinza. Os autores observaram que a variável mais importante no processo de biossorção foi o pH em meios ácidos.

Para a biomassa casca de maracujá modificada com ácido, foi plotado um gráfico de superfície para avaliar as tendências dos resultados obtidos no planejamento, como pode ser observado na Figura 5 (na próxima página), que demonstra que há uma tendência de melhor remoção do corante têxtil no efluente para menor valor de pH consorciado com menores tempo de interação.

De acordo com Royer (2008), melhores porcentagens de remoção em ambientes ácido podem ser explicados devido às interações eletrostáticas entre a superfície do biossorvente que está carregada positivamente, fazendo com que os grupos fenólicos comecem a ficar protonados, com as cargas negativas do corante, com isso, aumentando sua interação e consequentemente as eficiências.

FIGURA 5. Superfície de resposta para a capacidade adsortiva das melhores condições de trabalho, de acordo com o planejamento fatorial 2^3 para a variável remoção (%), usando cascas de maracujá modificadas com ácido clorídrico (HCl) como adsorvente, analisando as variáveis = pH x tempo



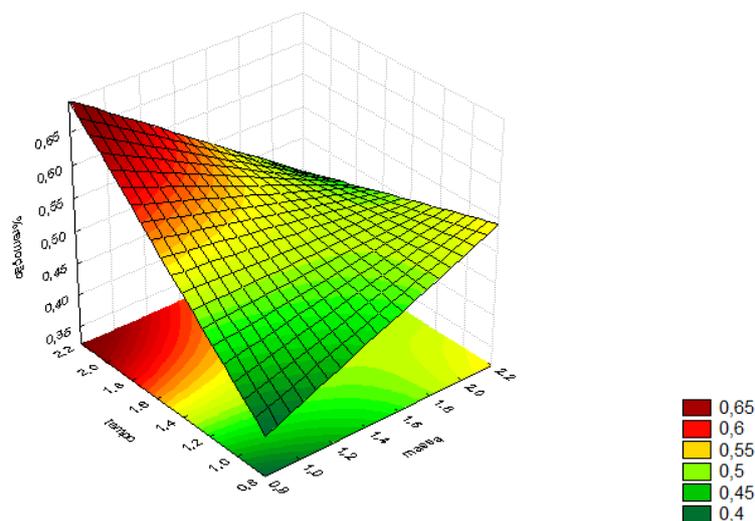
Fonte: Autores, (2016)

Ainda nesse contexto, pode-se fazer uma analogia com o item 3. 1 (ponto de carga zero). Nos experimentos em que o pH_{PCZ} encontrava-se em seu nível baixo (2,0), ocorreu uma alta interação entre o adsorvente e o adsorvato, porque o valor do pH_{PCZ} do CA (igual a 9,8) é maior do que o valor de pH_{PCZ} inicial da solução. De acordo com Marim *et al.* (2015), nessas condições, a superfície do adsorvente encontrava-se carregada positivamente, ou seja, com a mesma carga líquida do corante, favorecendo a interação entre o corante e o adsorvente. Resultados similares foram encontrados por Kimura (2001). O autor avaliou o tratamento de efluentes por adsorção usando quitosana pulverizada e na forma de microesfera, sendo que os melhores resultados foram encontrados em $pH_{PCZ}=2,0$ com remoção de 90% aplicando 60 g/L de material pulverizado. Foi observado que o adsorvente foi eficiente na remoção de corantes reativos de efluente têxtil em meio ácido.

Para a biomassa casca de maracujá modificada com base, foi plotado um gráfico de superfície para avaliar as tendências das melhores interações resultados obtidos no planejamento (Figura 6, na próxima página).

Analisando o gráfico da Figura 6, é possível inferir que as regiões com coloração vermelha demonstram melhores capacidades de adsorção. Dessa forma, o maior tempo consorciado com maiores massas é responsável pelas melhores porcentagens de remoção. De acordo com Filho *et al.* (2008), o tempo de contato está relacionado ao tempo necessário para a realização da reação. Assim, pode-se inferir que melhores resultados podem ser obtidos se se prolongar o tempo de contato.

FIGURA 6. Superfície de resposta para a capacidade adsortiva das melhores condições de trabalho, de acordo com o planejamento fatorial 2^3 para a variável remoção (%), usando cascas de maracujá modificadas com hidróxido de sódio (NaOH) como adsorvente, analisando as variáveis massa x tempo



Fonte: Autores, (2016)

Segundo Rocha *et al.*, (2012) uma maior dosagem de massa significa acréscimo no número de sítios ativos disponíveis para adsorção, o que consequentemente melhora no processo.

Já Brotel (2013) afirma que o aumento da capacidade de adsorção com a quantidade de adsorvente empregada pode estar associado ao aumento da quantidade de sítios ativos necessários para a acumulação e a interação das moléculas do efluente. Além disso, e de acordo com Hameed (2008), nesse estágio, as moléculas de corante já adsorvidas exercem uma repulsão eletrostática sobre aquelas que ainda estão em solução, aumentando a resistência à transferência de massa em volta das partículas de adsorvente.

Fazendo um paralelo com a Figura 5 e 6, pode-se observar que o fator tempo se comportou de maneira antagônica, isto é, enquanto a biomassa CA obteve melhor interação com menor tempo, o CB apresenta maiores capacidades de adsorção com um tempo de contato maior.

Assim, pode-se perceber que a casca de maracujá modificada com ácido obtém rápida adsorção e alcance de equilíbrio em curto período de tempo, por apresentar sua superfície ácida. O fato de o pH_{PCZ} apresentar uma tendência para ambientes básicos faz com que as reações aconteçam mais rápido, já a biomassa modificada com base se comporta de maneira contrária, assim necessitando de um maior tempo de contato para atingir o máximo de remoção.

4. CONCLUSÕES

A aplicação de cascas de maracujá apresentou-se favorável no tratamento de efluente têxtil. As modificações apresentaram eficiência máxima de 66% e, de acordo com o planejamento, a interação massa *versus* tempo apresentou uma tendência significativa para melhoria do tratamento com o material modificado com base. Assim, é necessário continuar o planejamento para encontrar o ponto ótimo dos parâmetros. As indústrias de suco de maracujá podem empregá-lo com eficiência e baixo custo e economizar no uso de reagentes químicos.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, F. *Remoção de cor de efluentes têxteis com tratamento de lodos ativados e um polieletrólito orgânico*. 2003. 121 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Ambiental) - Programa de pós-graduação em engenharia ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

BRASIL, J. J. *et al.* Planejamento estatístico de experimentos como uma ferramenta para otimização das condições de biossorção de Cu(II) em batelada utilizando-se casca de nozes pecã como biossorvente. *Quim. Nova*, 30(3): 548-553, 2007.

BARROS N, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. *Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria*. Campinas: Ed. da Unicamp, 2003.

BONIOLO, M. R. *Biossorção de urânio nas cascas de banana*. 2008. 100 f. Dissertação (Mestrado em tecnologia nuclear) - Centro de Química e Meio Ambiente, CQMA Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares IPEN/CNEN-MCT, São Paulo, 2008.

BOTREL, B. M. C. *Aproveitamento de resíduos agroindustriais na adsorção do corante azul de metileno: aliança favorável entre viabilidade econômica e desenvolvimento sustentável*. 2013. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

CUNHA, B. S. *Utilização de biossorventes alternativos na remoção de corantes têxteis*. 2014. 55 f. Trabalho conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Ambiental) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2014.

FILHO, E. B. S; ALVES, M. C. M. Estudo sobre a utilização da lama vermelha para a remoção de corantes em efluentes têxteis. *Quim. Nova*, 31(5): 985-989, 2008.

HAMEED, B. H. Equilibrium and kinetic studies of methyl violet sorption by agricultural waste. *Journal of Hazardous Materials*, v. 154, p. 204-212, 2008.

HONORATO, A. C. *et al.* Biossorção de azul de metileno utilizando resíduos agroindustriais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 19(7): 705–710, 2015.

KIMURA, I. Y. *Remoção de corantes reativos contendo grupos vinilsulfona e triazina por adsorção e coagulação/floculação com quitosana*. 198 f. 2001. Dissertação (mestrado em química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

MARIN, P. Borba *et al.* Avaliação do efeito da temperatura, ph e granulometria do adsorvente na adsorção do corante azul reativo 5g. *Engevista*, 17(1): 59-68, 2015.

MIMURA, A. M. S. *et al.* Aplicação da casca de arroz na adsorção dos íons Cu^{2+} , Al^{3+} , Ni^{2+} e Zn^{2+} . *Quim. Nova*, 33(6): 1279-1284, 2010.

OLIVEIRA, R; SILVA, R C. O. *Biossorção de cromo (VI) utilizando cascas de jabuticaba*. 2011. 36 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Química) - Curso de Bacharelado em Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2011.

ROCHA, O. R. *et al.* Avaliação do processo adsorptivo utilizando mesocarpo de coco verde para remoção do corante cinza reativo bf-2r. *Quim. Nova*, 35(7): 1369-1374, 2012.

ROYER, B. *Remoção de corantes têxteis utilizando casaca de semente de araucária angustifolia como biosorvente*. 2008. 65 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de química, Universidade Federal de Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

SAMICO, G F. *Caracterização física e química de sementes de maracujá (Passiflora edulis Flavicarpa, DEG) e seu aproveitamento integral: óleo e torta*. Dissertação (mestre em Tecnologia de Alimento) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimento, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro 2010.

SCHIMMEL, D. *Adsorção dos corantes reativos azul 5g e azul turquesa em carvão ativado comercial*. 2008. 21f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2008.

SILVA, L. M. *Estudo da potencialidade dos resíduos do umbu, manga e goiaba como bioadsorventes*. 2012. 63 f. Dissertação (Mestre em Ciência de Alimentos) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2012.

SILVA D. S. A *et al.* Adsorção do corante têxtil Azul Remazol por pecíolo de buriti (*Mauritia flexuosa L.f.*)* *Cad. Pesq.*, 19 (n. especial): 138-146, 2012.