

II-035 - AVALIAÇÃO DO USO DO MESOCARPO DE COCO VERDE (MCV) COMO BIOADSORVENTE NA REMOÇÃO DE CORANTES TÊXTEIS EM ÁGUAS RESIDUÁRIAS

Kamila Deys Rodrigues Lacerda

Engenheira Sanitarista e Ambiental e Mestra em Ciência e Tecnologia Ambiental (UEPB).

Fernando Fernandes Vieira

Engenheiro Químico (UFPB), Mestre em Engenharia Química (UFCG) e Doutor em Engenharia Mecânica (UFCG). Docente do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental (UEPB).

Marcello Maia de Almeida

Engenheiro Químico e Mestre em Engenharia Química (UFPB), Doutor em Engenharia de Processos (UFCG). Docente do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental (UEPB).

Whelton Brito dos Santos

Engenheiro Sanitarista e Ambiental (UEPB), Mestre em Engenharia Civil e Ambiental e Doutorando em Recursos Naturais (UFCG).

Endereço: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rua Baraúnas, 351 – Bairro Universitário, Campina Grande, PB. CEP: 58428-500 – Brasil – Tel: +55 (83) 3315 - 3333 - email: kamila.lacerda@gmail.com.

RESUMO

Dentro do processo produtivo da indústria têxtil há etapas em que a utilização de corante acaba gerando efluentes com características que possam degradar o meio ambiente. O presente estudo produziu um adsorvente alternativo a partir do MCV para remoção do corante reativo Azul Cassafix – CA 2G. O adsorvente foi produzido através da secagem do MCV em estufa de recirculação de ar na temperatura de 80 °C. O planejamento fatorial 2^4 analisou a influência das variáveis massa, concentração, pH e tempo, os fatores massa e concentração foram estatisticamente significativos e os fatores pH e tempo não influenciaram o processo dentro dos níveis estudados. O MCV apresenta potencial como bioadsorvente, tem baixo custo e é encontrado em abundância.

PALAVRAS-CHAVE: Mesocarpo do coco verde, adsorção, planejamento fatorial.

INTRODUÇÃO

Tendo como média de produção no ano de 2015 de 1,9 milhão de toneladas de produtos têxteis, o Brasil é o quinto maior produtor têxtil do mundo (Abit, 2016). Segundo ETENE (2014), a distribuição das indústrias no território nacional é concentrada nas regiões sudeste e sul, 48,8% e 30,4%, respectivamente, sendo seguidos do nordeste com 14,3% dos estabelecimentos, centro oeste com 5,5% e norte com 1,0%.

O processo de produção têxtil é dividido em etapas: fibras têxteis, fiação, tecelagem e/ou malharia, beneficiamento e enobrecimento dos fios e tecidos e confecções. O beneficiamento envolve a utilização de variados tipos de corantes e auxiliares químicos ao material têxtil, assim, ocorre a geração de efluentes que devem vir a ter um tratamento adequado para atender a legislação ambiental (CETESB, 2009).

Os efluentes gerados pela indústria têxtil devem passar por tratamentos que lhe confirmem um menor impacto ambiental quando descartados. Segundo Kunz *et al.*, (2002), esse tipo de lançamento sem tratamento causa poluição visual, influencia os ciclos biológicos e principalmente a fotossíntese.

O aumento da demanda por recursos hídricos também fez com que crescesse a preocupação neste tipo de lançamento, a indústria têxtil utiliza uma elevada quantidade de água durante a produção, esse resíduo descartado sem tratamento contamina as águas, desequilibrando o meio aquático. Mas os objetivos para o tratamento também estão relacionados com a saúde, pois alguns corantes sintéticos são tóxicos podendo ser carcinogênicos (GUARATINI e ZANONI, 2000).

Há diversos tratamentos de efluentes têxteis utilizados na indústria com boa eficiência na remoção de cor: ozônio (O_3) pode ser utilizado como agente oxidante; combinação de processos com tratamentos físico-químico seguido de biológico; biodegradação de corante utilizando determinadas bactérias ou fungos; utilização de fotocatalise heterogênea; tecnologias de membranas; e adsorção (CETESB, 2002; KUNZ *et al.*, 2002).

A adsorção com carvão ativado é uma das técnicas mais utilizada pela indústria têxtil para a retirada de corantes do seu efluente, porém com elevadas vazões, dependendo do adsorvente utilizado, o custo-benefício do tratamento pode não ser satisfatório. Existe uma busca por alternativas e pesquisas estão sendo realizadas para o aproveitamento de biomassa como carvão ativado devido o preço baixo e abundância (MONTEIRO, 2009).

Segundo dados do IBGE, no ano de 2014 o coco-da-baía (coco verde) teve uma safra de 1.848.319 toneladas. Após sua utilização, o coco verde na maioria das vezes é descartado, é um material de difícil degradação, podendo ser foco e proliferação de doenças, além de diminuir a vida útil de aterros sanitários. Mas pode ter diversas finalidades: substrato agrícola, cobertura morta, produção de fibras para reforço em materiais, fonte alternativa de energia e material adsorvente (MONTEIRO, 2009; EMBRAPA, 2015).

Neste contexto, o presente trabalho busca analisar uma alternativa utilizando o Mesocarpo do Coco Verde (MCV), após secagem, como adsorvente de corantes têxteis presentes em águas residuárias.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida na Estação Experimental de Tratamentos Biológicos de Esgotos Sanitários (EXTRABES), laboratório pertencente a Universidade Estadual da Paraíba e localizado na cidade de Campina Grande – PB.

O trabalho de pesquisa foi dividido em duas etapas:

- Etapa 1 – Produção do adsorvente;
- Etapa 2 – Ensaios de adsorção.

PRODUÇÃO DO ADSORVENTE

O coco verde utilizado para estudo foi adquirido no comércio da cidade de Campina Grande – PB, o mesocarpo foi retirado do mesmo e cortado em tamanho aproximado de 2 cm com o intuito de ter um material homogêneo durante a secagem. O processo de secagem foi realizado na temperatura de 80 °C, em uma estufa com recirculação de ar, durante um período de 24 h. Após o processo de secagem, o material foi triturado, armazenado em sacos plásticos e depositado em um recipiente de isopor para controle da umidade.

ENSAIOS DE ADSORÇÃO

O corante utilizado para o teste de adsorção foi o Azul Cassafix CA – 2G, produzido pela empresa Cassema. A solução estoque foi preparada com concentração de 2.000 mg.L⁻¹ e armazenada em recipiente âmbar para posterior utilização. Foi efetuada uma varredura para determinação do comprimento de onda que apresenta a maior absorção de radiação e uma curva de calibração para o corante também foi construída utilizando concentrações entre 0 e 200 mg.L⁻¹.

No presente estudo foi elaborado e realizado um planejamento experimental do tipo fatorial completo com dois níveis, usando os seguintes fatores: massa, concentração, pH e tempo no processo de adsorção. A Tabela 1 apresenta os valores reais das variáveis independentes utilizadas no planejamento.

Tabela 1 – Valores reais e codificados das variáveis independentes do planejamento 2⁴

FATORES	NÍVEIS		
	-1	0	1
Massa (g)	0,2	0,3	0,4
Concentração (mg.L ⁻¹)	50	75	100
pH	4	5	6
Tempo (min)	10	15	20

A influência das variáveis citadas no processo de adsorção foram avaliadas utilizando o software Statistica 10. A matriz do planejamento experimental 2⁴ está apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 – Matriz do planejamento fatorial 2⁴

EXPERIMENTO	MASSA (g)	CONCENTRAÇÃO (mg.L ⁻¹)	pH	TEMPO (min)
1	-1	-1	-1	-1
2	1	-1	-1	-1
3	-1	1	-1	-1
4	1	1	-1	-1
5	-1	-1	1	-1
6	1	-1	1	-1
7	-1	1	1	-1
8	1	1	1	-1
9	-1	-1	-1	1
10	1	-1	-1	1
11	-1	1	-1	1
12	1	1	-1	1
13	-1	-1	1	1
14	1	-1	1	1
15	-1	1	1	1
16	1	1	1	1
17	0	0	0	0
18	0	0	0	0
19	0	0	0	0

Em cada ensaio foi utilizado a quantidade de MCV previsto no planejamento experimental e 25 mL da solução de corante. A medida da concentração residual de corante em solução foi feita através de leitura no espectrofotômetro de absorção molecular. A quantidade de corante adsorvido em cada experimento, foi determinado pela seguinte equação

$$qt = \frac{(C_i - C_f)V}{m_a}$$

Onde:

C_i – concentração inicial do corante (mg.L^{-1});

C_f – concentração final do corante (mg.L^{-1});

m_a – massa do adsorvente (g);

V – volume da solução do corante (L).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O processo de adsorção é influenciado por diversos fatores, o estudo estatístico é utilizado para analisar os dados experimentais de forma a buscar os principais fatores e interações envolvidas. O planejamento fatorial de 2^4 com 3 repetições no ponto central foi feito tendo como variáveis resposta a quantidade de corante adsorvida por massa de MCV utilizada (q_t) e a redução de corante após a adsorção. Na Tabela 3 pode-se observar o resultado do planejamento experimental.

Pode ser observado na Tabela 3, que o experimento que forneceu a maior quantidade de corante adsorvido por unidade de massa de MCV, foi o experimento 7, que foi realizado com o menor nível de massa de MCV e o maior nível de concentração. Por outro lado, com relação a redução percentual da concentração do corante, foi observado que o experimento 10 apresentou uma redução de 24,3% em um tempo de contato de 20 minutos.

Tabela 3 – Planejamento fatorial completo 2^4 com 3 pontos centrais e valores de entrada

EXP.	MASSA (g)	CONCENTRAÇÃO (mg.L^{-1})	pH	TEMPO (min)	q_t (mg.g^{-1})	REDUÇÃO (%)
1	-1	-1	-1	-1	0,987	15,789
2	1	-1	-1	-1	0,606	19,398
3	-1	1	-1	-1	2,236	17,892
4	1	1	-1	-1	1,435	22,954
5	-1	-1	1	-1	0,814	13,017
6	1	-1	1	-1	0,407	13,017
7	-1	1	1	-1	2,378	19,021
8	1	1	1	-1	1,387	22,192
9	-1	-1	-1	1	0,975	15,601
10	1	-1	-1	1	0,761	24,337
11	-1	1	-1	1	2,312	18,495
12	1	1	-1	1	1,393	22,294
13	-1	-1	1	1	1,026	16,413
14	1	-1	1	1	0,755	24,164
15	-1	1	1	1	2,302	18,414
16	1	1	1	1	1,408	22,521
17	0	0	0	0	0,984	15,746
18	0	0	0	0	1,035	16,564
19	0	0	0	0	1,131	18,098

INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS MASSA, CONCENTRAÇÃO, pH E TEMPO NA VARIÁVEL q_t

Na Figura 1 são apresentadas a significância estatística e os efeitos das variáveis independentes (massa, concentração, pH e tempo) na variável resposta q_t através do diagrama de Pareto. Podemos notar que a variável independente Concentração apresentou efeito positivo, o que significa que a medida em que aumento a concentração a quantidade de corante adsorvida por massa de MCV utilizada também aumenta, podemos ver isso nos experimentos 1 e 3 (Tabela 3) onde o aumento da concentração elevou o q_t de 0,987 para 2,236, a elevação da concentração do corante na solução faz com que o meio fique saturado e ocorra uma maior facilidade para a adsorção pelo MCV. O fator independente Massa e a interação entre Concentração*Massa apresentaram efeito negativo, isso quer dizer que a medida em que os aumento há uma diminuição no q_t . Sendo q_t uma relação entre a quantidade de corante adsorvido e a quantidade de MCV utilizada, vemos que existe uma quantidade de adsorvente que apresenta uma melhor eficiência no processo e que ao aumentar está massa utilizada, mesmo havendo mais adsorção do corante, não significa que haverá um aumento na eficácia do adsorvente, em estudo realizado por Rocha *et al.* (2012) foi observado os mesmo resultados, ele obteve uma redução de 45% na capacidade adsorptiva aumentando a massa de MCV de 0,1 para 0,3 g. Os fatores independentes pH e Tempo e suas interações não apresentaram valores estatisticamente significativos nos níveis estudados. A análise estatística foi feita com um nível de confiança de 95%.

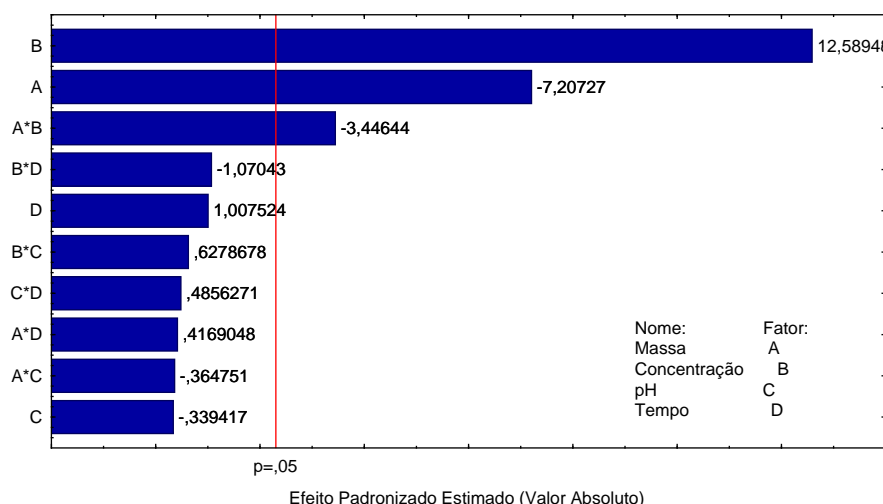


Figura 1 – Diagrama de Pareto obtido com planejamento fatorial utilizando as variáveis massa, concentração, pH e tempo e tendo como variável resposta o q_t

A Tabela 4 apresenta a ANOVA e o coeficiente de determinação do planejamento fatorial 2^4 tendo como variável resposta o q_t . O valor de F_{cal}/F_{tab} nos mostra que o modelo linear proposto é estatisticamente significativo dentro do intervalo de confiança de 95% e isso pode ser comprovado pelo valor de R^2 de 0,9657.

Tabela 4 - ANOVA e coeficiente de determinação do planejamento fatorial tendo como variável dependente o q_t e variáveis independentes massa, concentração, pH e tempo

FONTE	SOMA DOS QUADRADOS	GRAUS DE LIBERDADE	MÉDIA DOS QUADRADOS	F_{cal}	F_{cal}/F_{tab}	R^2	QUALIDADE DO AJUSTE (%)
REGRESSÃO	6,3643	3	2,1214	138,95	42,23	0,9657	92,3
ERRO	0,229	15	0,0153	F_{tab}			
TOTAL	6,5933	18		3,29			

A Equação 2 apresenta o modelo matemático que representa a influência das variáveis independentes na quantidade de corante adsorvida por MCV utilizado na adsorção, os valores destes fatores são codificados de acordo com o planejamento experimental.

$$q_t = 1,280564 - 0,304859X_1 + 0,532520X_2 - 0,145780X_1X_2 \quad (2)$$

Onde:

q_t = quantidade de corante adsorvido por massa de MCV utilizada;

X_1 = massa;

X_2 = concentração.

A Figura 2 apresenta os valores preditos e observados para a variável resposta q_t . Notamos que os pontos encontram-se dispersos em torno da diagonal apontando que o modelo descreve o processo de forma apropriada.

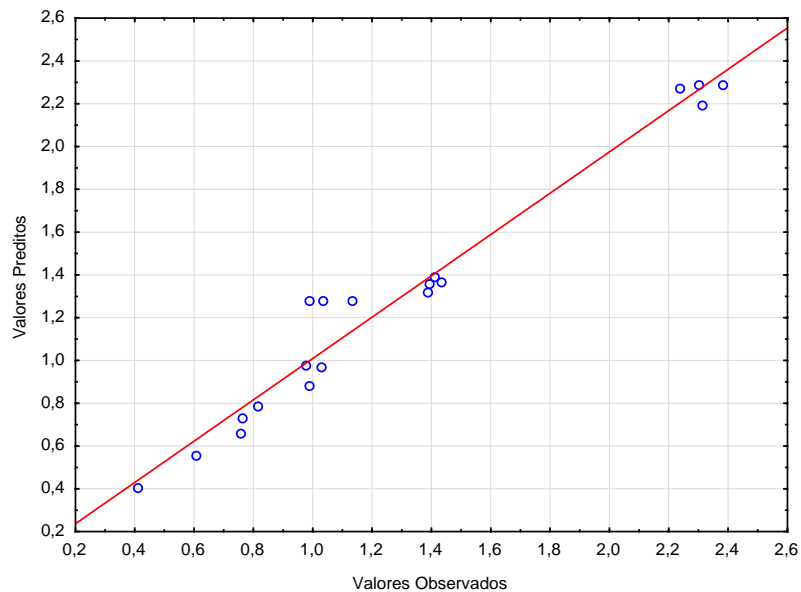


Figura 2 – Valores preditos e valores observados para o fator dependente q_t com planejamento fatorial envolvendo as variáveis massa, concentração, pH e tempo

A Figura 3 apresenta o gráfico de contorno para a interação entre Concentração e Massa, mantendo-se as outras variáveis constantes. Notamos que para que se tenha maiores valores de q_t devo ter maiores valores de concentração e menores valores de massa. Maciel (2013) realizou estudo de adsorção de corante com semente de siriguela e obteve resultados semelhantes, onde o aumento da massa utilizada estava relacionado com a diminuição do q_t .

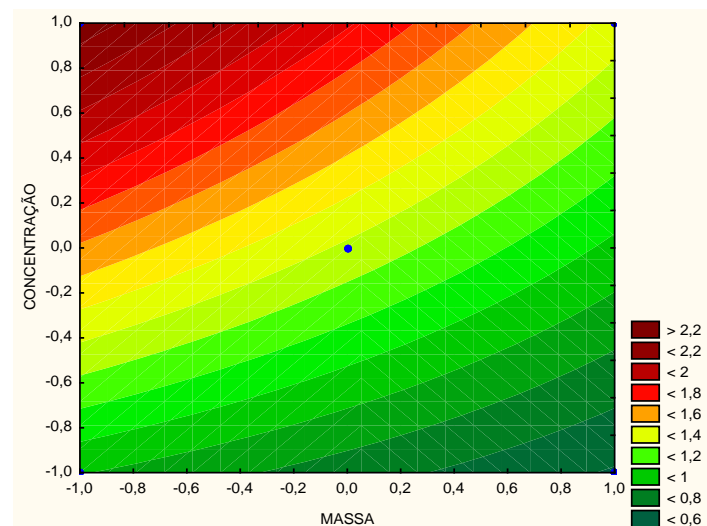


Figura 3 – Gráfico de contorno para a variável resposta q_t em função da massa e da concentração

INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS MASSA, CONCENTRAÇÃO, pH E TEMPO NA VARIÁVEL REMOÇÃO DE ADSORVENTE

A Figura 4 apresenta o diagrama de Pareto para a variável resposta redução de corante com as influências dos fatores independentes (massa, concentração, pH e tempo). Vemos que as variáveis independente massa e concentração apresentam efeito positivo, isso quer dizer que a medida em que aumento essas variáveis há uma maior redução de concentração de corante no meio. Podemos notar isso observando a Tabela 3 com os experimentos 1 e 2 para a massa e 1 e 3 para a concentração, observamos que a medida em que aumentamos esses fatores a porcentagem de redução de corante é maior. Com relação ao aumento da concentração no meio, esse resultado está relacionado com a força motriz do processo de adsorção, o ambiente mais saturado irá facilitar a transferência de massa. Arim (2014) obteve resultados semelhantes ao estudar a adsorção do corante vermelho do congo por semente de mamão formosa, ao elevar a concentração de corante na solução, houve uma maior redução da mesma após a adsorção. Com relação ao aumento de adsorvente no meio, o acréscimo de massa de adsorvente na solução aumenta a presença de sítios ativos e faz com que haja maior redução da concentração de corante. As variáveis independentes pH e o tempo não apresentaram resultados estatisticamente significativos dentro dos níveis estudados neste trabalho. A análise estatística foi feita com um nível de confiança de 95%.

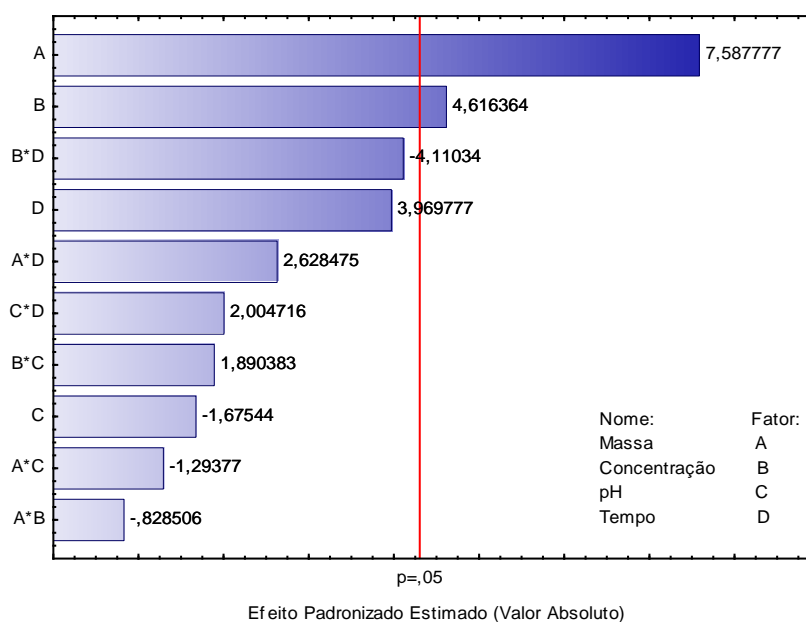


Figura 4 – Diagrama de Pareto para a variável resposta redução de corante com planejamento fatorial analisando as variáveis massa, concentração pH e tempo

A Tabela 12 apresenta a análise de variância do modelo e seu coeficiente de determinação tendo como variável resposta a redução da concentração do corante. O teste de hipótese F nos mostra que o modelo linear proposto é estatisticamente significativo dentro do intervalo de 95% mesmo observando que o valor do coeficiente de determinação não foi muito elevado.

FONTE	SOMA DOS QUADRADOS	GRAUS DE LIBERDADE	MÉDIA DOS QUADRADOS	F _{cal}	F _{cal} /F _{tab}	R ²	QUALIDADE DO AJUSTE (%)
REGRESSÃO	112,4397	2	56,2199	25,469	7,02	0,8411	64,26
ERRO	35,3184	16	2,2074	F _{tab}			
TOTAL	147,7581	18		3,63			

Tabela 1 – Resultados da ANOVA e o coeficiente de determinação do modelo tendo como variável resposta a redução do adsorvente e variáveis independentes massa, concentração, pH e tempo

Os valores preditos e observados para a variável redução podem ser vistos na Figura 5. É notável que a maioria dos valores encontram-se afastados da reta o que demonstra o baixo valor do coeficiente de determinação.

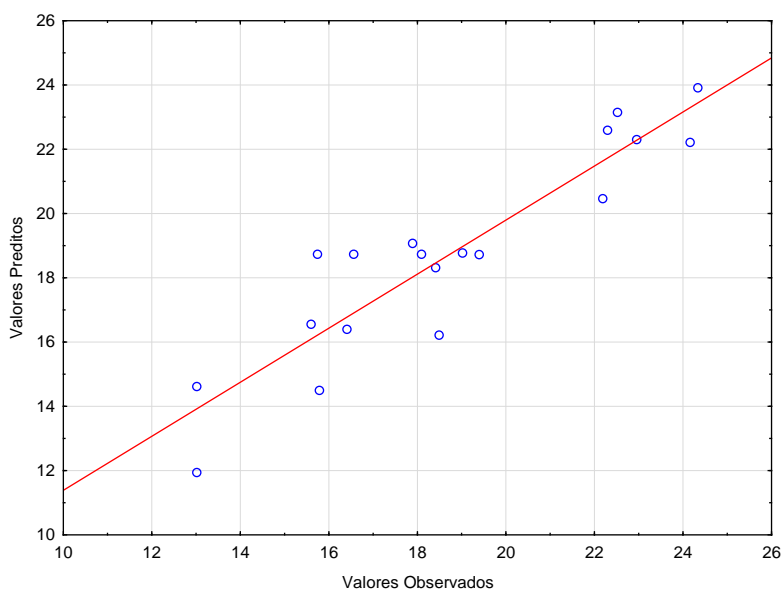


Figura 5 – Valores preditos e observados para a variável resposta redução analisando as variáveis independentes massa, concentração, pH e tempo

A Equação 3 apresenta o modelo matemático que representa a redução de corante na adsorção. O modelo proposto leva em conta os efeitos das variáveis independentes massa e concentração, os valores destes fatores são codificados de acordo com o planejamento experimental.

$$\text{Red}_{\%} = 18,73306 + 2,26473X_1 + 1,37785X_2 \quad (3)$$

Onde:

$\text{Red}_{\%}$ = redução de corante na adsorção;

X_1 = massa;

X_2 = concentração.

Na Figura 6 apresenta o gráfico de contorno para a variável dependente redução de corante que traz as interações entre massa e concentração. O gráfico mostra que para maiores valores de redução de corante após a adsorção deve-se aumentar as variáveis concentração e massa.

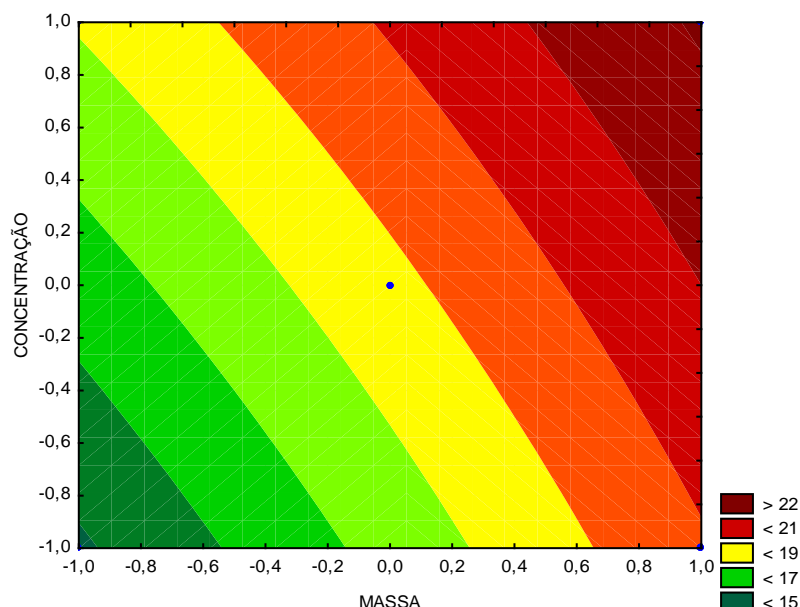


Figura 6 – Gráfico de contorno para a variável resposta redução com planejamento fatorial analisando as variáveis concentração e massa

CONCLUSÕES

O planejamento fatorial 2^4 analisou as interações entre massa, concentração, pH e tempo nas variáveis resposta q_t e redução de concentração. Para melhores resultados de q_t o planejamento apontou que menores valores de massa e maiores valores de concentração iriam tornar o processo mais eficiente, o maior valor de q_t foi de 2,378, justamente nessas condições. A redução da concentração do corante se dá aumentando os valores de massa e de concentração no meio. Os fatores pH e tempo não apresentaram relevância estatística dentro dos níveis estudados.

O coco verde é uma biomassa facilmente encontrada, principalmente no litoral brasileiro, tem baixo custo e assim torna-se atrativo para pesquisas em diversas áreas. No presente trabalho foi possível concluir que o MCV tem potencial para ser um adsorvente de baixo custo e eficiente, nas condições estudadas e tendo como adsorvato o corante Azul Cassafix CA-2G ele ainda apresenta eficiência pequena com relação a outros bioadsorventes, melhorias nas condições operacionais e estudos com modificações químicas do material podem vir a aumentar essa eficiência.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABIT – Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confeção. **Perfil do Setor**. Disponível em: < <http://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor> >. Acessado em 07 de Novembro de 2016.
2. CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Compilação de Técnicas de Prevenção à Poluição para a Indústria Têxtil**. São Paulo, 2002.
3. EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Beneficiamento da Casca de Coco Verde**. Disponível em: < http://www.ceinfo.cnpat.embrapa.br/arquivos/artigo_3830.pdf >. Acessado em 11 de Junho de 2016
4. ETENE – Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste. **Análise Retrospectiva e Prospectiva do Setor Têxtil no Brasil e no Nordeste**. Fortaleza – CE. Agosto de 2014.
5. GUARATINI, C. C. I.; ZANONI, M. V. B. **Corantes Têxteis**. Química Nova. v. 23, n. 1, p. 71-78, 2000.
6. KUNZ, Ailton; et al. **Novas Tendências no Tratamento de Efluentes Têxteis**. Química Nova. São Paulo, v. 25, n. 1, p. 78-82, jan./fev. 2002.



7. MONTEIRO, R. A. **Avaliação do Potencial de Adsorção de U, Th, Pb, Zn, e Ni Pelas Fibras de Coco.** Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Materiais). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - Autarquia Associada à Universidade de São Paulo, 2009.