

II-414 – ADSORÇÃO DE PARACETAMOL EM CARVÃO ATIVADO: UMA ANÁLISE DO EFEITO DO TEMPO DE CONTATO, DA DOSAGEM E DO TIPO DE ADSORVENTE SOBRE A EFICIÊNCIA DO PROCESSO

Lizandra Broseghini Föeger

Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental pelo Instituto Federal do Espírito Santo. Mestranda em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo.

Paula Laranja Leal de Mattos Pereira

Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental pelo Instituto Federal do Espírito Santo. Mestranda em Saneamento Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa.

André Vicente Salazar

Licenciado em Matemática pela Universidade Federal de Viçosa. Mestre em Educação Matemática pelo Instituto Federal do Espírito Santo. Professor do Instituto Federal do Espírito Santo.

Paola Angélica Dias dos Santos

Técnica em Química pelo Centro Federal de Educação Tecnológica do Espírito Santo. Licenciada em Química e Especialista em Educação Profissional e Tecnológica pelo Instituto Federal do Espírito Santo. Atua como técnica nos laboratórios de ensino e pesquisa em Química no Instituto Federal do Espírito Santo Campus Vitória.

Raquel Machado Borges⁽¹⁾

Bacharel e Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal de Uberlândia. Doutora em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Espírito Santo. Pós-doutoranda em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo. Professora do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental do Instituto Federal do Espírito Santo.

Endereço⁽¹⁾: Av. Vitória, 1729 – Bairro Jucutuquara – Vitória – ES – CEP: 29040-780 - Brasil - Tel: +55 (27) 3331-2237 - e-mail: raquelmb@ifes.edu.br

RESUMO

A presença de fármacos em águas superficiais, residuárias e de abastecimento tem sido uma preocupação crescente, em razão dos prejuízos que podem causar à saúde humana e aos ecossistemas aquáticos a longo prazo. O paracetamol é um fármaco de interesse neste contexto, visto que possui ampla utilização, sendo o princípio ativo de diversos produtos farmacêuticos. As tecnologias para remoção do paracetamol de águas tem sido objeto de estudo de muitos pesquisadores. No presente trabalho, foi realizado um planejamento fatorial 2^3 com a finalidade de se avaliar o efeito da variação do tempo de contato, da dosagem de adsorvente e do tipo de carvão sobre a resposta do processo de adsorção em termos de eficiência de remoção de paracetamol em água. Para tanto, foram realizados ensaios de adsorção, onde variou-se o tipo de adsorvente utilizado (carvão ativado granulado e em pó), a dosagem do adsorvente (0,5; 1,0 e 2,0 g.L⁻¹) e o tempo de contato adsorvente-adsorvato (10, 20, 30, 60 e 120 minutos). A análise estatística dos resultados dos ensaios experimentais, organizados na forma de uma matriz de planejamento, permitiu concluir que o maior efeito observado sobre o desempenho do processo ocorreu com a mudança do tipo de carvão. O segundo maior efeito registrado foi a dosagem do adsorvente. A análise das interações entre os fatores permitiu concluir que a interação entre a dosagem de adsorvente e o tipo de adsorvente apresentou maior efeito sobre a resposta do tratamento, dentre as diversas interações estudadas. Adicionalmente, a partir dos ensaios e da análise dos fatores envolvidos nos experimentos, concluiu-se que o carvão ativado em pó apresentou mais eficiência que o carvão ativado granulado para a remoção do paracetamol, alcançando completa remoção do fármaco em diversas condições operacionais.

PALAVRAS-CHAVE: Adsorção, Paracetamol, Carvão Ativado, Planejamento Fatorial.

INTRODUÇÃO

A alarmante presença de compostos farmacêuticos em águas, sejam elas superficiais, residuárias e de abastecimento, tem sido relatada em diversos estudos no mundo todo (TERNES, 1998; ZIYLAN e INCE, 2011). Os efeitos adversos causados pelos fármacos incluem toxicidade aquática, desenvolvimento de

resistência em bactérias patogênicas, genotoxicidade e distúrbios endócrinos na biota em geral e no homem (KÜMMERER, 2004 apud ERBA et al, 2012). O paracetamol, por sua característica hepatotóxica, e em razão de seu princípio ativo ser utilizado em uma vasta gama de produtos, tem sido objeto de interesse da comunidade científica, preocupada com os possíveis efeitos do fármaco sobre o ambiente e sobre a saúde humana a longo prazo.

As diferentes tecnologias para remoção do paracetamol de soluções aquosas incluem dentre outros o uso de foto-reatores solares (ALMEIDA et al, 2011), oxidação catalítica seguida de adsorção sequencial (QUESADA-PENATE et al, 2012) e processos oxidativos avançados (ZIYLAN e INCE, 2011). Em função de sua simplicidade operacional e, comparativamente, menor custo, o processo de adsorção sólido-líquido tem se mostrado uma técnica promissora para a remoção de paracetamol em águas, tanto com o uso do carvão ativado comercial (RHEINHEIMER, 2016) quanto de materiais adsorventes alternativos (DRAMAN et al., 2005; FERREIRA et al., 2014; RIBEIRO et al., 2011; RIBEIRO et al., 2014; RIBEIRO et al, 2016; MESTRE et al, 2011; VILLAESCUSA et al., 2011).

O processo de adsorção é considerado uma operação de transferência de massa, uma vez que um constituinte, denominado adsorvato, é transferido da fase líquida para uma fase sólida (adsorvente). (TCHOBANOGLIOUS et al, 2016). Ainda segundo os autores, os adsorventes a base de carvão são os mais utilizados para a adsorção de contaminantes em função do seu custo relativamente baixo e de sua elevada superfície específica, que resulta em alta capacidade de adsorção. Os autores estimam a superfície específica do carvão ativado granulado entre 700 e 1300 m².g⁻¹ e do carvão ativado em pó entre 800 e 1800 m².g⁻¹.

Este trabalho teve como objetivo avaliar, por meio de técnicas de planejamento fatorial, o efeito da variação do tempo de contato, da dosagem de adsorvente e do tipo de carvão sobre a resposta do processo de adsorção em termos de eficiência de remoção de paracetamol em água.

MATERIAIS E MÉTODOS

A amostra de paracetamol puro (100%), adquirida em farmácia de manipulação, foi inicialmente solubilizada em água ultrapura para concentração de 100 ppm. A varredura espectrofotométrica do fármaco foi realizada por meio do espectrofotômetro UV-Vis Agilent Technologies®, modelo Cary 60 UV-Vis, na faixa de 200 a 800 nm. Após identificação do comprimento de onda de maior absorvância do paracetamol, soluções com diferentes concentrações foram preparadas para a construção da curva padrão de calibração.

Os ensaios experimentais de adsorção foram conduzidos com carvão ativado nas formas granulado (CAG), da marca Dinâmica Química Contemporânea Ltda), e em pó (CAP), da marca Êxodo Científica. Os tempos de contato entre adsorvente e adsorvato foram de 10, 20, 30, 60 e 120 minutos (DRAMAN et al. 2015; RIBEIRO et al. 2011). Para cada tempo de contato, três dosagens de adsorvente por volume de amostra foram testadas: 0,5 g.L⁻¹, 1,0 g.L⁻¹ e 2,0 g.L⁻¹ (ASTM, 2008). Para cada ensaio, 100 mL de uma solução de paracetamol com concentração de 9,4 ppm, pH neutro e temperatura de 27°C foram dispostos em erlenmeyer de 250 mL, o qual, após adição do adsorvente, foi submetido à agitação magnética a 260 rpm.

Após a realização dos ensaios, as amostras foram submetidas à filtração em membrana filtrante de acetato de celulose de porosidade 0,45 µm (Sartorius Stedim Biotech), visando à separação da amostra tratada do adsorvente em suspensão na massa líquida. Para tanto, testes prévios confirmaram ausência de retenção de paracetamol na membrana filtrante.

Previamente à realização dos experimentos, foi elaborado um planejamento fatorial 2³ com a finalidade de se avaliar o efeito de cada fator de interesse (tempo de contato, tipo de adsorvente e dosagem de adsorvente) sobre a resposta do tratamento. Para tanto, foram realizadas oito análises do tipo 2³, ou seja, dois níveis representados pelos sinais de + e -, e três fatores analisados. O objetivo desta etapa foi analisar numericamente os resultados quando se altera o tempo de contato da adsorvente-adsorvato e/ou se utiliza um tipo diferente de carvão, e/ou se altera a dosagem de adsorvente. A tabela 1 apresenta a definição dos níveis inferior (-) e superior (+) de cada fator de interesse. A tabela 2, por sua vez, apresenta a matriz de planejamento com os níveis inferior e superior definidos para cada efeito em estudo. Nesta tabela, A representa o efeito principal do tempo de contato, B representa o efeito principal da dosagem de adsorvente e C representa o efeito principal do tipo de adsorvente. As interações entre dois fatores são representadas por AB, AC e BC, enquanto a interação entre os três fatores é representada por ABC.

Tabela 1: Níveis inferior (-) e superior (+) dos fatores adotados nas análises do tipo 2³.

Análise	Tempo de contato (min)		Dosagem (g.L ⁻¹)		Tipo de adsorvente	
	(-)	(+)	(-)	(+)	(-)	(+)
1	10	20	0,5	1,0	CAP	CAG
2	20	30	0,5	1,0	CAP	CAG
3	30	60	0,5	1,0	CAP	CAG
4	60	120	0,5	1,0	CAP	CAG
5	10	20	1,0	2,0	CAP	CAG
6	20	30	1,0	2,0	CAP	CAG
7	30	60	1,0	2,0	CAP	CAG
8	60	120	1,0	2,0	CAP	CAG

Fonte: Autoria própria.

Tabela 2: Matriz de planejamento com coeficientes de contraste.

A	B	C	AB	AC	BC	ABC	% Remoção
-	-	-	+	+	+	-	X ₁
+	-	-	-	-	+	+	X ₂
-	+	-	-	+	-	+	X ₃
+	+	-	+	-	-	-	X ₄
-	-	+	+	-	-	+	X ₅
+	-	+	-	+	-	-	X ₆
-	+	+	-	-	+	-	X ₇
+	+	+	+	+	+	+	X ₈

Observações:

A: efeito principal do tempo de contato

B: efeito principal da dosagem de adsorvente

C: efeito principal do tipo de adsorvente, sendo (-) CAP e (+) CAG

AB; AC; BC: interações entre dois fatores

ABC: interação entre três fatores

Fonte: Autoria própria.

Os sinais que correspondem aos efeitos de interação na tabela 2 são obtidos multiplicando-se os sinais das colunas correspondentes a cada interação. Desta forma, a interação AB possui sinal (+) em razão da multiplicação dos sinais (-) de A e de B. A matriz de planejamento lista os ensaios na ordem padrão, pois todas as colunas começam com o nível inferior (-) e depois os sinais vão se alternando, um a um na coluna A (-++), depois dois a dois na coluna B (--+), e por fim, quatro sinais negativos e quatro positivos na coluna C. De forma geral, um total de k fatores resulta em 2^(k-1) sinais negativos e 2^(k-1) sinais positivos na última coluna da matriz (MARINHO; CASTRO, 2005).

A determinação do valor numérico correspondente a cada efeito principal foi realizada multiplicando-se o sinal (- ou +) da coluna correspondente ao referido efeito pela eficiência de remoção de paracetamol obtida nos ensaios (X₁, X₂, ...), linha a linha, e dividindo o resultado pelo número de vezes em que houve variação do fator. A equação (1) ilustra a determinação do valor numérico do efeito principal do tempo de contato na Análise 1, correspondente à mudança do fator de 10 para 20 minutos, por exemplo:

$$A = \frac{(-X_1 + X_2) + (-X_3 + X_4) + (-X_5 + X_6) + (-X_7 + X_8)}{4} \quad \text{equação (1)}$$

RESULTADOS

Os resultados da varredura espectrofotométrica indicaram maior absorvância do paracetamol puro (100%) no comprimento de onda de 249 nm, conforme ilustra a figura 1. Relatos apresentados na literatura identificaram os comprimentos de onda de maior absorvância do paracetamol entre 243 e 257 nm (MALUF et al, 2008; SEQUINEL, 2008), indicando coerência do valor obtido com a literatura. A curva padrão de calibração construída no comprimento de onda de maior absorvância encontra-se apresentada na figura 2.

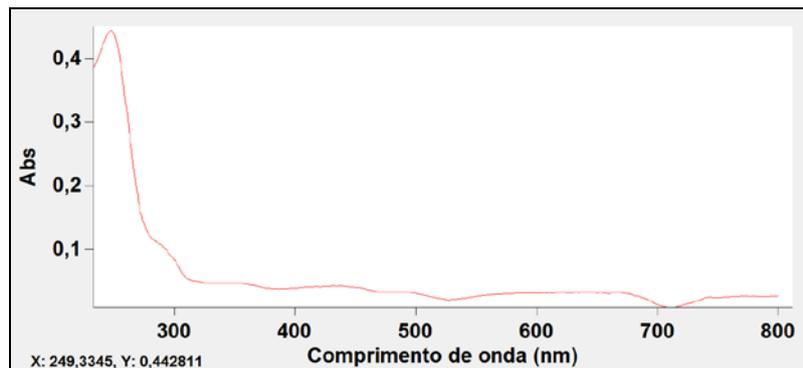


Figura 1: Leitura espectrofotométrica da solução de paracetamol puro (100%). Fonte: Dados da pesquisa.

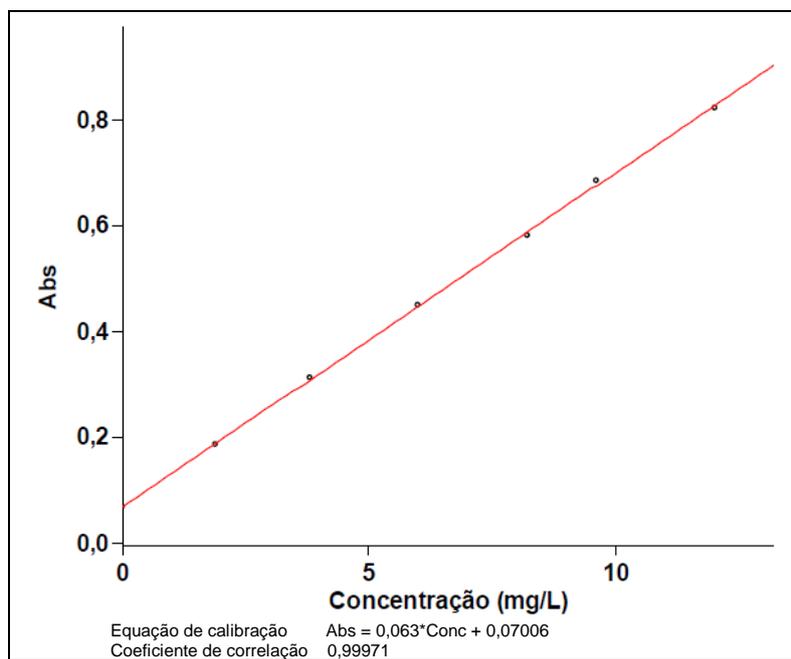


Figura 2: Curva padrão de calibração da solução de paracetamol a 249 nm. Fonte: Dados da pesquisa.

A equação da reta obtida pela regressão linear dos dados e seu respectivo coeficiente de correlação estão apresentados na equação (2). Na equação, X e Y representam a concentração de paracetamol na amostra (ppm) e sua absorbância a 249 nm, respectivamente.

$$Y = 0,063 X + 0,07006 \quad (R^2=0,99971) \quad \text{equação (2)}$$

Os resultados dos ensaios experimentais de adsorção utilizando carvão ativado nas formas granulado e em pó, sob diferentes dosagens e tempos de contato encontram-se apresentados na tabela 3 e na figura 3. Os dados mostram nítida superioridade do carvão ativado em pó (CAP) na adsorção de paracetamol, quando comparado ao carvão ativado granulado (CAG), para os mesmos tempos de contato e as mesmas dosagens de adsorvente. Em apenas 10 minutos de contato, 0,5 g de CAP por litro de amostra foi capaz de adsorver mais de 50% da quantidade de paracetamol presente na solução. O CAG, por sua vez, requereu mais de 20 minutos para adsorver igual percentual de paracetamol, na dosagem de 2,0 g.L⁻¹, condição esta que proporcionou total remoção do fármaco com o uso do CAP.

Estes resultados sugerem que a adsorção com uso do carvão ativado granular ocorre de forma mais lenta que com o carvão ativado em pó. Em termos cinéticos, o processo de adsorção ocorreu, no intervalo de 10 minutos, à taxa de 57,6 mg.(g.h)⁻¹ para a dosagem de 0,5 gCAP.L⁻¹, cerca de 3,7 vezes maior que a taxa de adsorção observada para o CAG (15,6 gCAG.L⁻¹), nas mesmas condições de tempo de contato e dosagem.

Tabela 3: Eficiências de remoção de paracetamol (em %) em função do tempo de contato, dosagem de adsorvente e tipo de adsorvente.

Tempos de contato (min)	Dosagens de adsorvente					
	0,5 g.L ⁻¹		1,0 g.L ⁻¹		2,0 g.L ⁻¹	
	CAG	CAP	CAG	CAP	CAG	CAP
10	13,83	51,06	21,28	86,17	30,85	96,81
20	20,21	60,64	31,91	95,74	47,87	100,00
30	27,66	84,04	40,43	97,87	62,76	100,00
60	39,36	95,74	59,57	100,00	86,17	100,00
120	69,15	97,87	78,72	100,00	100,00	100,00

Fonte: Dados da pesquisa.

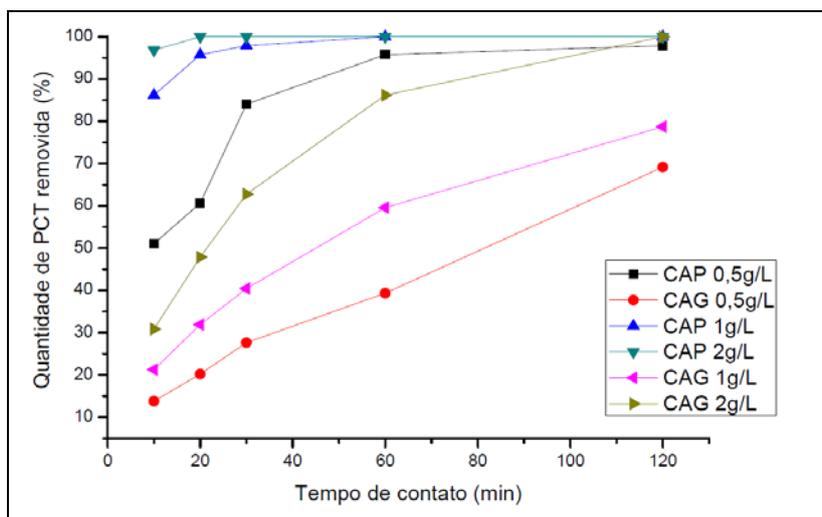


Figura 3: Remoção de paracetamol (%) em função do tempo de contato com uso de carvão ativado granulado e em pó, sob diferentes dosagens. Fonte: Dados da pesquisa.

As figuras 4 e 5 apresentam os gráficos de superfície para os carvões ativados granulado e em pó, respectivamente.

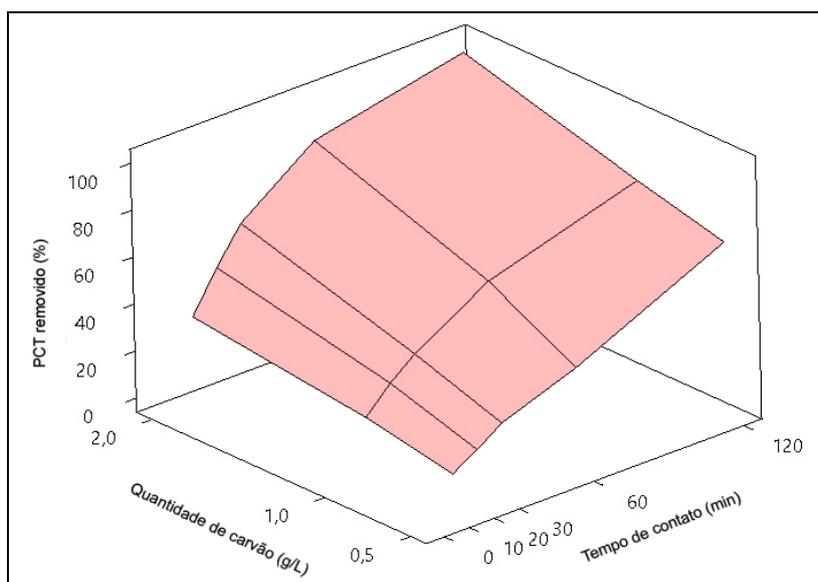


Figura 4: Gráfico de superfície para a remoção de paracetamol (%) usando carvão ativado granulado como adsorvente. Fonte: Dados da pesquisa.

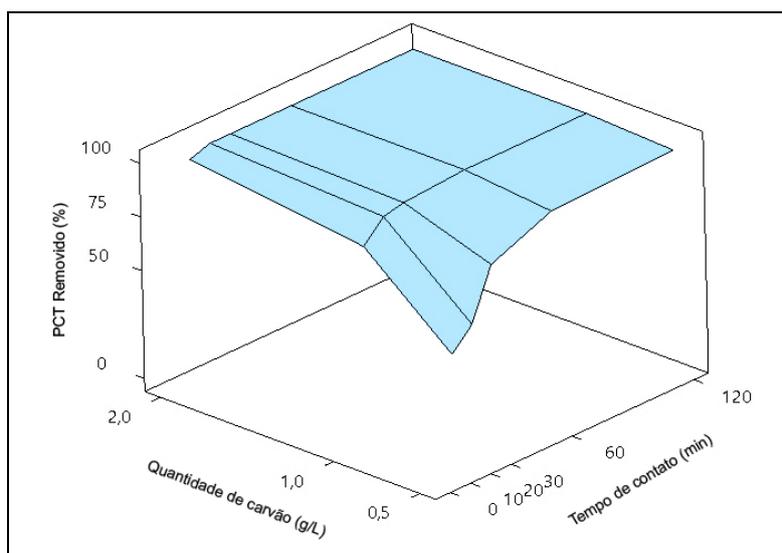


Figura 5: Gráfico de superfície para a remoção de paracetamol (%) usando carvão ativado em pó como adsorvente. Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 4: Matriz para análise fatorial do tipo 2³.

	A	B	C	% Remoção		A	B	C	% Remoção
Análise 1	10	0,5	CAP	51,06	Análise 5	10	1,0	CAP	86,17
	20	0,5	CAP	60,64		20	1,0	CAP	95,74
	10	1,0	CAP	86,17		10	2,0	CAP	96,81
	20	1,0	CAP	95,74		20	2,0	CAP	100,00
	10	0,5	CAG	13,83		10	1,0	CAG	21,28
	20	0,5	CAG	20,21		20	1,0	CAG	31,91
	10	1,0	CAG	21,28		10	2,0	CAG	30,85
	20	1,0	CAG	31,91		20	2,0	CAG	47,87
Análise 2	20	0,5	CAP	60,64	Análise 6	20	1,0	CAP	95,74
	30	0,5	CAP	84,04		30	1,0	CAP	97,87
	20	1,0	CAP	95,74		20	2,0	CAP	100,00
	30	1,0	CAP	97,87		30	2,0	CAP	100,00
	20	0,5	CAG	20,21		20	1,0	CAG	31,91
	30	0,5	CAG	27,66		30	1,0	CAG	40,43
	20	1,0	CAG	31,91		20	2,0	CAG	47,87
	30	1,0	CAG	40,43		30	2,0	CAG	62,77
Análise 3	30	0,5	CAP	84,04	Análise 7	30	1,0	CAP	97,87
	60	0,5	CAP	95,74		60	1,0	CAP	100,00
	30	1,0	CAP	97,87		30	2,0	CAP	100,00
	60	1,0	CAP	100,00		60	2,0	CAP	100,00
	30	0,5	CAG	27,66		30	1,0	CAG	40,43
	60	0,5	CAG	39,36		60	1,0	CAG	59,57
	30	1,0	CAG	40,43		30	2,0	CAG	62,77
	60	1,0	CAG	59,57		60	2,0	CAG	86,17
Análise 4	60	0,5	CAP	95,74	Análise 8	60	1,0	CAP	100,00
	120	0,5	CAP	97,87		120	1,0	CAP	100,00
	60	1,0	CAP	100,00		60	2,0	CAP	100,00
	120	1,0	CAP	100,00		120	2,0	CAP	100,00
	60	0,5	CAG	39,36		60	1,0	CAG	59,57
	120	0,5	CAG	69,15		120	1,0	CAG	78,72
	60	1,0	CAG	59,57		60	2,0	CAG	86,17
	120	1,0	CAG	78,72		120	2,0	CAG	100,00

Fonte: Autoria própria.

Por meio das figuras 4 e 5, observa-se a tendência de comportamento de cada tipo de adsorvente. Nota-se que ambos os gráficos mostram a tendência de aumento do percentual de remoção do paracetamol com o aumento do tempo de contato e da dosagem de adsorvente. No entanto, o efeito positivo de tais variações sobre a resposta do tratamento mostrou-se mais intenso sob o uso do CAP que sob o uso do CAG.

A quantificação numérica do efeito de cada variável sobre a resposta do tratamento foi realizada por meio da organização dos dados em uma matriz, conforme mostra a tabela 4. Para cada análise, no total de 8, as condições operacionais testadas e as eficiências de tratamento foram organizadas na sequência lógica apresentada nas tabelas 1 e 2. Os resultados dos efeitos do tempo de contato (A), dosagem de adsorvente (B) e tipo de adsorvente (C) sobre a resposta do tratamento encontram-se apresentados na tabela 5.

Tabela 5: Efeitos principais e de interação das análises do tipo 2³.

Análises	Efeitos Principais			Efeitos de Interação			
	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
1	9,04	22,34	-51,60	1,06	-0,53	-12,77	1,06
2	10,37	18,35	-54,52	-5,05	-2,39	-6,12	5,59
3	11,17	12,77	-52,66	-0,53	4,26	3,72	4,26
4	12,77	9,04	-36,70	-3,19	11,70	5,85	-2,13
5	10,11	10,11	-61,70	0,0	3,72	2,66	3,19
6	6,38	11,17	-52,66	1,06	5,32	7,98	2,13
7	11,17	12,77	-37,23	0,53	10,11	11,70	1,60
8	8,24	11,97	-18,88	-1,33	8,24	11,97	-1,33

Fonte: Autoria própria.

Observa-se que os maiores efeitos, ou seja, os maiores resultados em módulo, registrados ocorreram com a mudança do tipo de carvão (efeito principal C) em todas as análises. Isso significa que o fator que tem mais influência sobre a eficiência do processo de adsorção é o tipo de carvão que é utilizado no processo. Tal resultado já era esperado, visto que o carvão ativado em pó apresentou uma capacidade de remoção de paracetamol bem maior se comparado ao carvão ativado granular, mesmo em tempos de contato menores. A superioridade do carvão ativado em pó quando comparado ao carvão ativado granular é também relatada em alguns estudos da literatura (COLARES et al., 2010; BISCALQUIM et al., 2014). A predominância do maior volume de microporos e maior área específica presentes no carvão ativado em pó permitem menor resistência à difusão das moléculas do paracetamol aos sítios do carvão, o que justifica a maior eficiência observada (FERREIRA et al., 2014).

O segundo maior efeito observado sobre o desempenho do processo, exceto para a análises 4, foi a dosagem do carvão (efeito principal B), e por último o tempo de contato (efeito principal A). Nota-se que os resultados mostram não apenas o valor em módulo mais expressivo no efeito principal (B), mas a interação BC compreende o maior valor em módulo na maioria das interações estudadas. O segundo efeito de interação com maior valor em módulo foi o AC, indicando que o efeito principal C pode ter contribuído de forma significativa para os efeitos de interação.

CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou um estudo da aplicação do processo de adsorção em carvão ativado para a remoção de paracetamol presente em águas. Na avaliação do desempenho do processo com dois tipos de adsorventes, o carvão ativado em pó (CAP) se mostrou muito eficiente, sendo capaz de adsorver completamente o paracetamol contido na amostra, sob dosagem de 1g.L^{-1} , a partir de 60 minutos de contato, e sob a dosagem de 2g.L^{-1} , a partir de 20 minutos de contato. O CAG, por sua vez, foi capaz de adsorver completamente o paracetamol da amostra, porém apenas sob a dosagem de 2g.L^{-1} e tempo de contato de 120 minutos. Tais resultados, associados às taxas cinéticas de adsorção, sugerem que o CAP apresenta superioridade na adsorção do paracetamol.

A análise fatorial permitiu que fosse determinada a variável que mais influencia nos resultados do processo de adsorção. Os fatores relacionados ao efeito da mudança do tipo de carvão apresentaram os maiores resultados em módulo, indicando que para o experimento em questão, o tipo de carvão utilizado (CAP ou CAG) causaria

as maiores diferenças entre a eficiência de remoção do paracetamol, seguido pela dosagem de carvão. Entende-se, com base nos resultados alcançados, que a análise do efeito da variação de cada fator de interesse sobre a resposta do tratamento apresenta-se como uma ferramenta de grande auxílio na tomada de decisão sobre as melhores condições operacionais a serem definidas para o processo, visando sua otimização em termos técnicos e econômicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALMEIDA, L. C.; GARCIA-SEGURA, S.; BOCCHI, N.; BRILLAS, E. Solar photoelectron-Fenton degradation of paracetamol using a flow plant with a Pt/air-diffusion cell coupled with a compound parabolic collector: process optimization by response surface methodology. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 103, p. 21-30, 2011.
2. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS- ASTM. D3860-98 Standard practice for determination of adsorptive capacity of activated carbon by aqueous phase isotherm technique. Filadélfia, 2008.
3. BISCALQUIM, A. P.; ROMANZINI, A. F.; BAIDA, E. R.T.; ARGONDIZO, A.; SILVA, A. P. **Avaliação do potencial de três diferentes tipos de carvão ativado visando a adsorção do Bisfenol A.** X Encontro Brasileiro sobre Adsorção, Guarujá, 2014.
4. COLARES, C. J. G.; CASTRO, R. M.; COSTA, O. S.; CRUZ, R. A.; COLARES, E. C. G. **Tratamento de efluente industrial farmacêutico por adsorção com carvão ativado.** 50º Congresso Brasileiro de Química, Cuiabá, 2010.
5. DRAMAN, S. F. S.; BATRA, AZMAN, I. A.; MOHD, N. Removal of paracetamol from aqueous solution by dried cellulose and activated carbon. **ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences**, v. 10, n. 20, p.9544-9548, 2015.
6. ERBA, C. M.; TANGERINO, E. P.; CARVALHO, S. L.; ISIQUE, W. D. Remoção de diclofenaco, ibuprofeno, naproxeno e paracetamol em filtro ecológico seguido por filtro de carvão granular biologicamente ativado. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 17, n. 2, p. 137-142, 2012.
7. FERREIRA, R. C.; OLIVEIRA, T. F. V.; COUTO JUNIOR, O. M.; BARROS, M. A. S. D.; CARVALHO, K. Q. **Mecanismo de adsorção de paracetamol em carvões de origem nacional.** XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, Florianópolis, 2014
8. KÜMMERER, K. Resistance in the environment. **Journal of Antimicrobial Chemotherapy**. v. 54, n. 2, p. 311-320, 2004.
9. MALUF, D. F.; NAGATA, N.; FARAGO, P. V., ZAMORA, P. G. P. Determinação simultânea de paracetamol e cafeína por espectrometria UV-Vis associada a ferramentas matemáticas. *Rev. Bras. Farm.*, v. 89, n. 1, p. 39-43, 2008.
10. MARINHO, M. R. M.; CASTRO, W. B. Planejamento fatorial: uma ferramenta poderosa para os pesquisadores. XXXIII Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, Paraíba: Campina Grande, Set., 2005.
11. MESTRE, A. S.; BEXIGA, A. S.; PROENÇA, M.; ANDRADE, M.; PINTO, M. L. MATOS, I.; FONSECA, I. M.; CARVALHO, A. P. Activated carbons from sisal waste by chemical activation with K₂CO₃: kinetics of paracetamol and ibuprofen removal from aqueous solution. **Bioresource Technology**, v.102. n.17, p. 8253-8260, 2011.
12. QUESADA-PEÑATE; JULCOUR-LEBIGUE, C.; JÁUREGUI-HAZA, U. J.; WILHEM, A. M.; DELMAS, H. Degradation of paracetamol by catalytic wet air oxidation and sequential adsorption – Catalytic wet air oxidation on activated carbons. **Journal of Hazardous Materials**, v. 221-222, p. 131-138, 2012.
13. RHEINHEIMER, M. O. W. **Remoção de paracetamol por adsorção em carvão ativado: processo em batelada e coluna de leito fixo.** 57f. Trabalho de diplomação em Engenharia Química – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.
14. RIBEIRO, A. V. F. N.; BELISÁRIO, M.; GALAZZI, R. M.; BALTHAZAR, D.C.; PEREIRA, M. G.; RIBEIRO, J. N. Evaluation of two bioadsorbents for removing paracetamol from aqueous media. **Journal of Biotechnology**, v. 14, n. 6, 2011.
15. RIBEIRO, J. N.; RIBEIRO, A. V. F. N.; LICÍNIO, M. V. V. J.; PEREIRA, M. G.; DALFIOR, B. M.; OLIVEIRA, J. P.; CRUZ, P. C.; GALAZZI, R. M.; PEREIRA, E. V.; GUIMARÃES, M. G. Estudos de remoção de paracetamol em meio aquoso empregando vermicomposto. **Revista Analytica**, n. 71, 2014.

16. RIBEIRO, J. N.; RIBEIRO, A. V. F. N.; OLIVEIRA, J. P.; LEÃO, R. T.; CUNHA, T. P. Green mesocarp coconut for treatment of water contaminated with paracetamol and tetracycline. **International Journal of Scientific Research**, v. 4, n. 5, 2016.
17. SEQUINEL, R. Desenvolvimento de novos procedimentos analíticos para a determinação de paracetamol em amostras de medicamentos. 2008. 77f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2008.
18. TCHOBANOGLOUS, G.; STENSEL, H. D.; TSUCHIHASHI, R.; BURTON, F.; ABU-ORF, M.; BOWDEN, G.; PFRANG, W. Metcalf & Eddy. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos**. Tradução: Ivanildo Hespagnol, José Carlos Mierzwa. 5 ed. Porto Alegre, AMGH, 2016. 1980p.
19. TERNES, T. A. Occurrence of drugs in german sewage treatment plants and rivers. **Water Research**, v. 32, n. 11, p. 3245-3260, 1998.
20. VILLAESCUSA I.; FIOL, N.; POCH, J.; BIANCHI, A.; BAZZICALUPI, C. Mechanism of paracetamol removal by vegetable wastes: The contribution of π - π interactions, hydrogen bonding and hydrophobic effect. **Desalination**, v. 270, p. 135-142, 2011.
21. ZIYLAN, A; INCE, N. H. The occurrence and fate of anti-inflammatory and analgesic pharmaceuticals in sewage and fresh water: treatability by conventional and non-conventional processes. **Journal of Hazardous Materials**, v. 187, p.24-36, 2011.