

II-083 – ADSORÇÃO DE DAPIRONA SÓDICA EM FASE AQUOSA: ANÁLISE DO EFEITO DO TEMPO DE CONTATO E DA DOSAGEM DE ADSORVENTE SOB A TAXA DE REMOÇÃO DO POLUENTE

Franciele Vieira Rodrigues

Técnica em Química pelo Educandário Carlos Drummond de Andrade (MG). Graduanda em Engenharia Sanitária e Ambiental pelo 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⁾

Engenheira Química e Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal de Uberlândia. Doutora em Engenharia Elétrica com pós-doutorado 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 ocorrência de fármacos, desreguladores endócrinos e outros micropoluentes no esgoto sanitário, em águas superficiais e até mesmo em águas de abastecimento tem despertado o interesse sobre a temática dos contaminantes emergentes em todo o mundo. A dipirona sódica, um medicamento analgésico que figura entre os dez fármacos mais comercializados no Brasil, é um exemplo de contaminante encontrado em amostras de esgoto sanitário bruto e tratado em algumas regiões do país, como Campinas e Fortaleza. No que se refere à remoção de fármacos das águas contaminadas, estudos apontam que as técnicas convencionais de tratamento de esgoto e de águas de abastecimento são, via de regra, ineficientes para a remoção destes poluentes. Uma alternativa, neste caso, seria a adoção de técnicas complementares de tratamento, dentre as quais a adsorção com carvão ativado tem apresentado melhor custo-benefício. Neste trabalho, investigou-se o processo de adsorção na remoção de dipirona sódica em fase líquida, utilizando-se como adsorventes carvão ativado em pó (CAP), carvão ativado granulado (CAG) e zeólita clinoptilolita ativada (ZS). Visando maior aplicabilidade da técnica em estações de tratamento, as dosagens de adsorvente adotadas foram de 0,5 g.L⁻¹, 1 g.L⁻¹ e 2 g.L⁻¹, enquanto os tempos de contato entre adsorvente-adsorvato variaram de 10 a 120 minutos. Os resultados dos ensaios experimentais mostraram que o carvão ativado em pó possui capacidade de adsorção de até 18,4 mg.g⁻¹, para a dosagem de 0,5 g.L⁻¹ e tempo de contato de 120 minutos, consideravelmente superior aos dos demais adsorventes. Em termos de taxa de adsorção, o CAP foi capaz de atingir 54 mg.g⁻¹.h⁻¹ para a dosagem de 0,5 g.L⁻¹ e tempo de contato de 10 minutos. Apesar deste resultado, as curvas de remoção obtidas mostram que o tempo de contato adsorvente-adsorvato de pelo menos 1 hora é necessário para o estabelecimento das condições próximas ao equilíbrio, quando a remoção do fármaco alcança aproximadamente 80% de eficiência. Os resultados obtidos com CAG indicaram que os tempos de contato adotados não foram suficientes para que o processo atingisse as condições de equilíbrio nas dosagens de 1 g.L⁻¹ e 2 g.L⁻¹. Para a dosagem de 0,5 g.L⁻¹, o sistema atingiu equilíbrio, porém o CAG foi capaz de remover apenas 26% da dipirona da amostra e capacidade de adsorção não superior a 5,5 mg.g⁻¹ para a dosagem de 1 g.L⁻¹ e tempo de contato de 120 min. Os resultados dos ensaios experimentais conduzidos com a zeólita clinoptilolita ativada mostraram reduzida capacidade de remoção de dipirona (eficiência máxima de 20% de remoção) e sugerem a necessidade de maior investigação sobre a seletividade do material. Algumas hipóteses para este o comportamento residem na menor área superficial específica do adsorvente, quando comparada à área do carvão ativado em pó, e ainda no mecanismo de adsorção da zeólita, dependente das interações entre grupos polares do contaminante e as cargas negativas do adsorvente.

PALAVRAS-CHAVE: Adsorção, Carvão Ativado, Dipirona Sódica, Zeólita.

INTRODUÇÃO

A dipirona sódica (ácido 1-fenil-2,3-dimetil-5-pirazolona-4-etilaminometanossulfônico) é um medicamento analgésico não opióide, antipirético e espasmolítico de ampla utilização no Brasil, figurando entre os dez fármacos mais comercializados no país. Derivado do pirazol, a dipirona é também chamada de noramidopiriniometanossulfonato sódico, analgina, metamizol, metampirona, noramidopirona e sulpirina, e consiste de um pó cristalino branco, inodoro e hidrossolúvel (NASCIMENTO, 2005), cuja estrutura molecular encontra-se apresentada na figura 1. Apesar do uso massificado para alívio da dor, a comercialização da dipirona levanta polêmica, tendo sido proscrita há mais de 20 anos nos Estados Unidos, em virtude do suposto papel em deprimir a medula óssea, causando anemia aplástica e agranulocitose (BENSENOR, 2001). Estudos mostram ainda que superdoses de dipirona são a causa frequente de toxicidade leve que ocorre principalmente no ambiente domiciliar pelo uso oral do fármaco e têm relação com um número considerável de tentativa de suicídio (SALIHI, 2018).

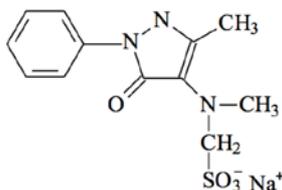


Figura 1. Dipirona sódica. Fonte: ROSADO (2014) *apud* PEREIRA et al (2002).

A presença de fármacos em águas residuárias, águas superficiais e até mesmo em águas de abastecimento público tem sido objeto de estudo há décadas. As diferentes rotas a partir das quais os fármacos atingem o meio ambiente e, por consequência, elevam o risco à saúde humana incluem o lançamento direto (medicamentos vencidos, por exemplo) e indireto (via urina) dos poluentes no esgoto sanitário, lixiviação em função do uso na pecuária e ainda em função do uso industrial. Ghiselli (2006) relata a ocorrência de 36,4 $\mu\text{g.L}^{-1}$ e 23,7 $\mu\text{g.L}^{-1}$ de dipirona no esgoto sanitário bruto e tratado, respectivamente, na região de Campinas. Souza (2011), por sua vez, relata as ocorrências entre 2,8 e 8,9 $\mu\text{g.L}^{-1}$ para esgoto sanitário bruto e entre 0,3 e 1,38 $\mu\text{g.L}^{-1}$ para esgoto tratado na região metropolitana de Fortaleza.

O processo de adsorção figura como uma importante opção de tratamento para a remoção de diversos poluentes presentes na água, em especial aqueles que não são facilmente biodegradáveis, como os fármacos. Os adsorventes utilizados, no entanto, devem possuir elevada superfície específica, alta capacidade de adsorção e baixo custo. A capacidade de adsorção de um adsorvente (mg.g^{-1}) pode ser estimada, via de regra, por meio da relação entre a quantidade de adsorvato removida (mg) e a massa de adsorvente utilizada (g). A capacidade máxima de adsorção, neste caso, pode ser estimada quando se alcança as condições de equilíbrio. Carvalho et. al. (2011) estudaram a aplicação de microesferas de quitosana para a remoção de dipirona sódica da água por adsorção. Os resultados do estudo apontaram capacidade máxima de adsorção de $4,83 \times 10^{-4}$ mol de dipirona adsorvida por grama do adsorvente, correspondente a 150,38 mg de dipirona por grama do adsorvente para a concentração inicial da amostra de 2000 mg de dipirona por litro e tempo de contato de 24 horas. Lessa et. al. (2018) investigaram a aplicação de um composto produzido a partir da mistura de quitosana com borra de café na adsorção diversos contaminantes farmacêuticos. Os resultados do estudo indicaram uma capacidade de adsorção do composto de 6,29 mg de dipirona por grama de adsorvente para concentração inicial de 2 mg de dipirona por litro e tempo de contato de 40 minutos.

Este trabalho teve por objetivo avaliar a eficiência de remoção de dipirona sódica em fase líquida pelo processo de adsorção em carvão ativado em pó, carvão ativado granulado e zeólita clinoptilolita ativada, sob diferentes tempos de contato e sob diferentes dosagens de adsorvente.

MATERIAIS E MÉTODOS

A solução de dipirona sódica utilizada na pesquisa foi preparada a partir de uma amostra de pureza analítica, adquirida em farmácia de manipulação e solubilizada em água ultrapura até concentração de 100 ppm. Para a identificação do comprimento de onda de maior absorvância da dipirona sódica, foi realizada uma varredura espectrofotométrica do fármaco com utilização do espectrofotômetro UV-Vis Agilent Technologies®, modelo

Cary 60 UV-Vis, na faixa de 200 a 800 nm. Após identificação do comprimento de onda, soluções com diferentes concentrações do fármaco foram preparadas para a construção da curva padrão de calibração.

Os ensaios experimentais de adsorção foram conduzidos com os adsorventes carvão ativado em pó (Êxodo Científica), carvão ativado granulado (Dinâmica Química Contemporânea Ltda) e zeólita clinoptilolita ZS de diâmetro entre 0,4 e 1,0 mm (Celta Brasil Ltda), cujas microscopias ópticas são mostradas na figura 2. Os tempos de contato entre adsorvente e adsorvato adotados foram de 10, 20, 30, 60 e 120 minutos (DRAMAN et al. 2015). Para cada tempo de contato, três dosagens de adsorvente por volume de amostra foram testadas: 0,5 g/L, 1g/L e 2g/L (ASTM, 2008). Para cada ensaio, 100 mL da solução de dipirona sódica preparada com concentração inicial de 10,0 ppm foram dispostos em erlenmeyer de 250 mL, o qual, após adição do adsorvente, foi submetido à agitação magnética a 260 rpm. Previamente à realização dos ensaios, foi realizada a leitura espectrofotométrica da concentração inicial de dipirona nas amostras brutas. As amostras tratadas foram submetidas à filtração em membrana filtrante de acetato de celulose de porosidade 0,45 µm (Sartorius Stedim Biotech), visando à separação da fase aquosa do adsorvente em suspensão na massa líquida. Para tanto, testes prévios confirmaram ausência de retenção dos fármacos na membrana filtrante. Seguidamente, as concentrações residuais dos fármacos foram analisadas pelo método espectrofotométrico.

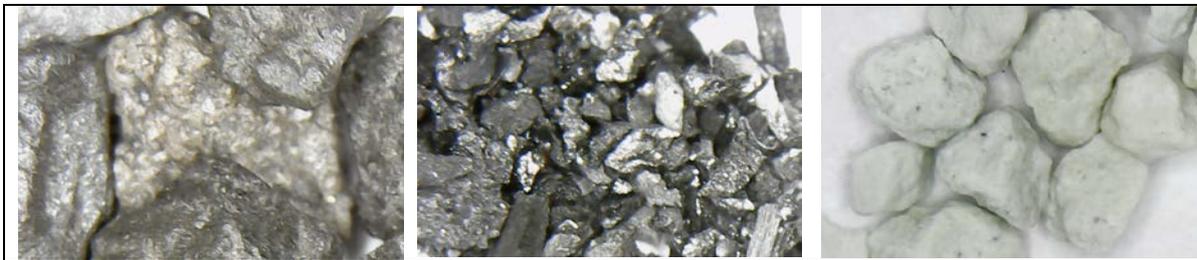


Figura 2. Microscopia óptica dos adsorventes CAG, CAP e ZS, da esquerda para a direita.

A quantidade de fármaco adsorvido por quantidade de adsorvente utilizado, ou sua capacidade de adsorção, pode ser estimada por meio da equação (1), em que q_t representa a quantidade do fármaco adsorvido no tempo t (mg.g^{-1}), C_0 representa a concentração inicial do fármaco (mg.L^{-1}), C_t representa a concentração do fármaco no tempo t , V representa o volume da solução (L) e m representa a massa de adsorvente (g).

$$q_t = \frac{(C_0 - C_t) \cdot V}{m} \quad \text{equação (1)}$$

A derivada da equação (1) no tempo t fornece a estimativa da taxa de adsorção r_t (mg.(g.h)^{-1}), conforme ilustra a equação (2), em que D representa a dosagem de adsorvente (g.L^{-1}) e t representa o tempo de contato adsorvente-adsorvato (h).

$$r_t = \frac{dq_t}{dt} = \frac{d}{dt} \left[\frac{(C_0 - C_t) \cdot V}{m} \right] = \frac{(C_0 - C_t)}{D \cdot t} \quad \text{equação (2)}$$

Após a obtenção dos resultados de adsorção, as eficiências de remoção de dipirona (%) e as taxas de adsorção (mg.(g.h)^{-1}) foram estimadas para cada intervalo de tempo adotado.

RESULTADOS

Os desempenhos dos adsorventes carvão ativado em pó (CAP), carvão ativado granulado (CAG) e zeólita clinoptilolita ativada (ZS) foram quantificados em termos de concentração residual de dipirona na amostra e eficiência de remoção do fármaco, para cada tempo de contato e dosagem do adsorvente. As tabelas 1, 2 e 3 apresentam os resultados obtidos com CAP, CAG e ZS, respectivamente. Os resultados dos ensaios experimentais indicaram que o carvão ativado em pó possui capacidade de adsorver o fármaco dipirona sódica de forma significativa, mesmo em dosagens baixas do adsorvente. As concentrações de dipirona residuais apresentadas na tabela 1 mostram que eficiências de remoção acima de 80% foram obtidas após 1 hora de tempo de contato sob a dosagem de 0,5 g.L^{-1} de CAP, 20 minutos sob a dosagem de 1,0 g.L^{-1} de CAP e apenas

10 minutos sob a dosagem de 2,0 g.L⁻¹ de CAP, o que representa um tempo de contato com maior viabilidade de aplicação prática. Lima et. al. (2017) enfatizam que uma das possíveis causas de baixa eficiência de adsorção de microcontaminantes em unidades de mistura rápida utilizando CAP se deve ao fato do tempo de contato entre o adsorvente e os microcontaminantes ser inferior ao tempo de equilíbrio, a partir do qual se observa a capacidade máxima de adsorção.

Tabela 1. Dipirona residual e % de remoção de dipirona nas amostras após ensaios de adsorção com CAP com amostra bruta de concentração de 10 mg.L⁻¹.

Tempo de Contato (min)	0,5 gCAP.L ⁻¹		1,0 gCAP.L ⁻¹		2,0 gCAP.L ⁻¹	
	Dipirona residual (mg.L ⁻¹)	% de dipirona removida	Dipirona residual (mg.L ⁻¹)	% de dipirona removida	Dipirona residual (mg.L ⁻¹)	% de dipirona removida
10	5,5	45	2,8	72	1,4	86
20	3,5	65	1,8	82	0,9	91
30	3,3	67	1,3	87	0,7	93
60	1,6	84	0,9	91	0,6	94
120	0,8	92	0,8	92	1,1	89

Fonte: Autoria própria.

Tabela 2. Capacidade e taxa de adsorção da dipirona sódica com CAP em função do tempo de contato.

Tempo de Contato (min)	0,5 gCAP.L ⁻¹		1,0 gCAP.L ⁻¹		2,0 gCAP.L ⁻¹	
	Capacidade de adsorção (mg.g ⁻¹)	Taxa de adsorção (mg.g ⁻¹ .h ⁻¹)	Capacidade de adsorção (mg.g ⁻¹)	Taxa de adsorção (mg.g ⁻¹ .h ⁻¹)	Capacidade de adsorção (mg.g ⁻¹)	Taxa de adsorção (mg.g ⁻¹ .h ⁻¹)
10	9,00	54,00	7,20	43,20	4,30	25,80
20	13,00	39,00	8,20	24,60	4,55	13,65
30	13,40	26,80	8,70	17,40	4,65	9,30
60	16,80	16,80	9,10	9,10	4,70	4,70
120	18,40	9,20	9,20	4,60	4,45	2,23

Fonte: Autoria própria.

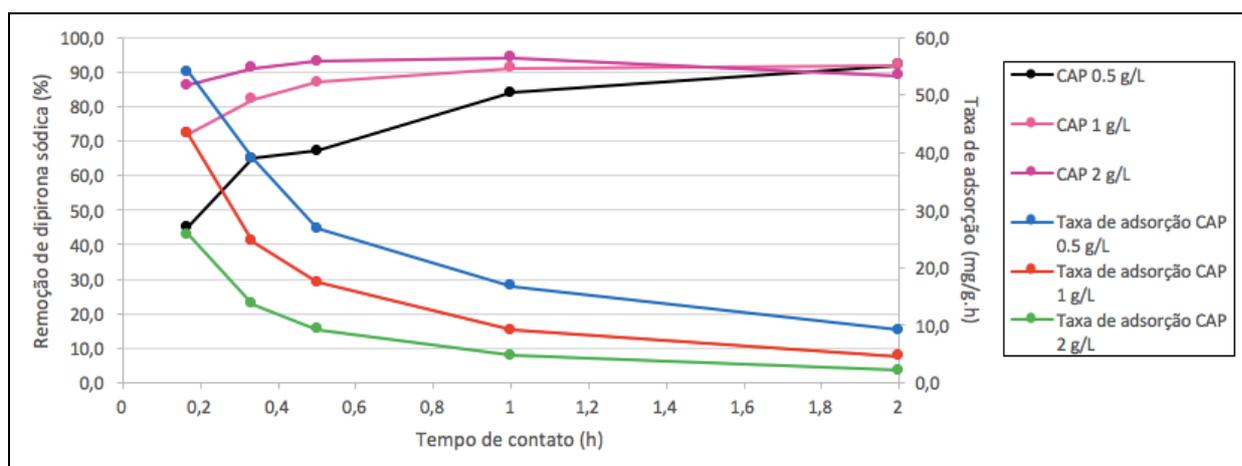


Figura 3. Remoção de dipirona sódica e taxa de adsorção com carvão ativado em pó.

A identificação da dosagem ótima de adsorvente e do tempo de contato mínimo requerido para o processo de tratamento são essenciais para a definição das condições operacionais do tratamento. No entanto, a capacidade máxima de adsorção do adsorvente e as taxas de adsorção são parâmetros que indicam o ponto de equilíbrio adsorvente-adsorvato e a cinética do processo, respectivamente. Os resultados obtidos no experimento sugerem que o equilíbrio da adsorção tenha sido atingido quando 92 a 94% do fármaco foi removido, conforme pode ser

observado por meio das assíntotas apresentadas na figura 3. A análise da capacidade adsorptiva, medida por meio da relação entre a massa de dipirona removida (mg) por massa de adsorvente (g) indicou o valor máximo de $18,4 \text{ mg.g}^{-1}$ para a dosagem de $0,5 \text{ g.L}^{-1}$ e tempo de contato acumulado de 120 minutos. À medida que a quantidade de adsorvente utilizada aumentava, no entanto, menor quantidade de poluente foi removida por grama de adsorvente, sugerindo que o sistema entrou em equilíbrio antes de esgotar a capacidade de adsorção do CAP.

Os resultados obtidos com CAG indicaram uma eficiência de remoção de dipirona superior a 80% somente com a dosagem de $2,0 \text{ g.L}^{-1}$ e tempo de contato de 120 minutos, conforme apresenta a tabela 3. Embora 87% de remoção de dipirona seja um resultado considerável, os indicadores de adsorção em termos de capacidade adsorptiva e taxa de adsorção (tabela 4) mostram lentidão do processo, razão pela qual os tempos de contato adotados não foram suficientes para que o processo atingisse as condições de equilíbrio nas dosagens de 1 g.L^{-1} e 2 g.L^{-1} (figura 4). Para a dosagem de $0,5 \text{ g.L}^{-1}$, o sistema atingiu equilíbrio, porém o CAG foi capaz de remover apenas 26% da dipirona da amostra e capacidade de adsorção não superior a $5,5 \text{ mg.g}^{-1}$ para a dosagem de 1 g.L^{-1} e tempo de contato de 120 min.

Tabela 3. Dipirona residual e % de remoção de dipirona nas amostras após ensaios de adsorção com CAG com amostra bruta de concentração de $8,9 \text{ mg.L}^{-1}$.

Tempo de Contato (min)	$0,5 \text{ gCAG.L}^{-1}$		$1,0 \text{ gCAG.L}^{-1}$		$2,0 \text{ gCAG.L}^{-1}$	
	Dipirona residual (mg.L^{-1})	% de dipirona removida	Dipirona residual (mg.L^{-1})	% de dipirona removida	Dipirona residual (mg.L^{-1})	% de dipirona removida
10	8,0	10	7,7	13	6,7	25
20	7,6	15	6,9	22	5,8	35
30	7,3	18	6,4	28	5,2	42
60	6,9	22	7,6	15	4,1	54
120	6,6	26	3,4	62	1,2	87

Fonte: Autoria própria.

Tabela 4. Capacidade e taxa de adsorção da dipirona sódica com CAG em função do tempo de contato.

Tempo de Contato (min)	$0,5 \text{ gCAG.L}^{-1}$		$1,0 \text{ gCAG.L}^{-1}$		$2,0 \text{ gCAG.L}^{-1}$	
	Capacidade de adsorção (mg.g^{-1})	Taxa de adsorção ($\text{mg.g}^{-1}.\text{h}^{-1}$)	Capacidade de adsorção (mg.g^{-1})	Taxa de adsorção ($\text{mg.g}^{-1}.\text{h}^{-1}$)	Capacidade de adsorção (mg.g^{-1})	Taxa de adsorção ($\text{mg.g}^{-1}.\text{h}^{-1}$)
10	1,8	10,8	1,2	7,2	1,1	6,6
20	2,6	7,8	2,0	6,0	1,6	4,65
30	3,2	6,4	2,5	5,0	1,9	3,7
60	4,0	4,0	1,3	1,3	2,4	2,4
120	4,6	2,3	5,5	2,75	3,9	1,93

Fonte: Autoria própria.

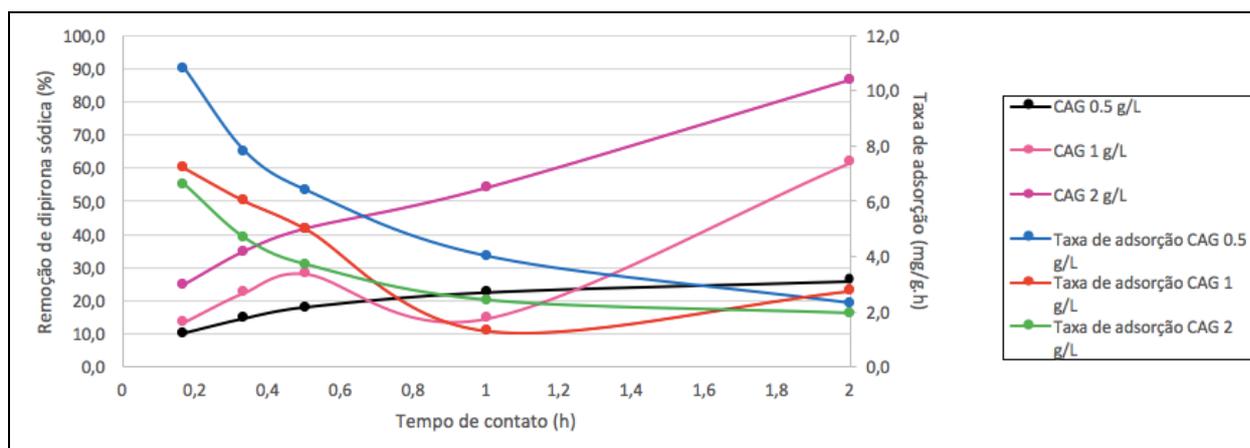


Figura 4. Remoção de dipirona sódica e taxa de adsorção com carvão ativado granulado.

Não obstante os resultados inferiores aos obtidos com o CAP, vale ressaltar que o emprego do carvão ativado granular (CAG) em filtros após a etapa de clarificação já configura uma prática adotada como tratamento complementar em estações de tratamento de água (Lima et. al, 2017). Neste sentido, acredita-se que a aplicação do CAG para a remoção adicional de micropoluentes requeira apenas ajustes operacionais quanto à quantidade de adsorvente e tempo de detenção hidráulica.

Os resultados de eficiência de remoção de dipirona obtidos por meio dos ensaios utilizando zeólita apresentaram-se, comparativamente, muito aquém dos demais adsorventes. A eficiência máxima alcançada com a ZS foi de apenas 20%, para a dosagem de 2,0 gZS.L⁻¹, conforme mostra a tabela 5.

Tabela 5. Dipirona residual e % de remoção de dipirona nas amostras após ensaios de adsorção com ZS com amostra bruta de concentração de 10,6 mg.L⁻¹.

Tempo de Contato (min)	0,5 gZS.L ⁻¹		1,0 gZS.L ⁻¹		2,0 gZS.L ⁻¹	
	Dipirona residual (mg.L ⁻¹)	% de dipirona removida	Dipirona residual (mg.L ⁻¹)	% de dipirona removida	Dipirona residual (mg.L ⁻¹)	% de dipirona removida
10	10,6	0	10,4	1,9	9,6	10
20	10,5	1	9,5	11	10,0	6
30	10,4	2	10,6	0	9,9	7
60	9,8	8	9,6	10	8,6	20
120	9,5	11	9,6	10	8,8	18

Fonte: Autoria própria.

Tabela 6. Capacidade e taxa de adsorção da dipirona sódica com ZS em função do tempo de contato.

Tempo de Contato (min)	0,5 gZS.L ⁻¹		1,0 gZS.L ⁻¹		2,0 gZS.L ⁻¹	
	Capacidade de adsorção (mg.g ⁻¹)	Taxa de adsorção (mg.g ⁻¹ .h ⁻¹)	Capacidade de adsorção (mg.g ⁻¹)	Taxa de adsorção (mg.g ⁻¹ .h ⁻¹)	Capacidade de adsorção (mg.g ⁻¹)	Taxa de adsorção (mg.g ⁻¹ .h ⁻¹)
10	0,0	0,0	0,2	1,2	0,5	3,0
20	0,2	0,6	1,1	3,3	0,3	0,9
30	0,4	0,8	0,0	0,0	0,4	0,7
60	1,6	1,6	1,0	1,0	1,0	1,0
120	2,2	1,1	1,0	0,5	0,9	0,45

Fonte: Autoria própria.

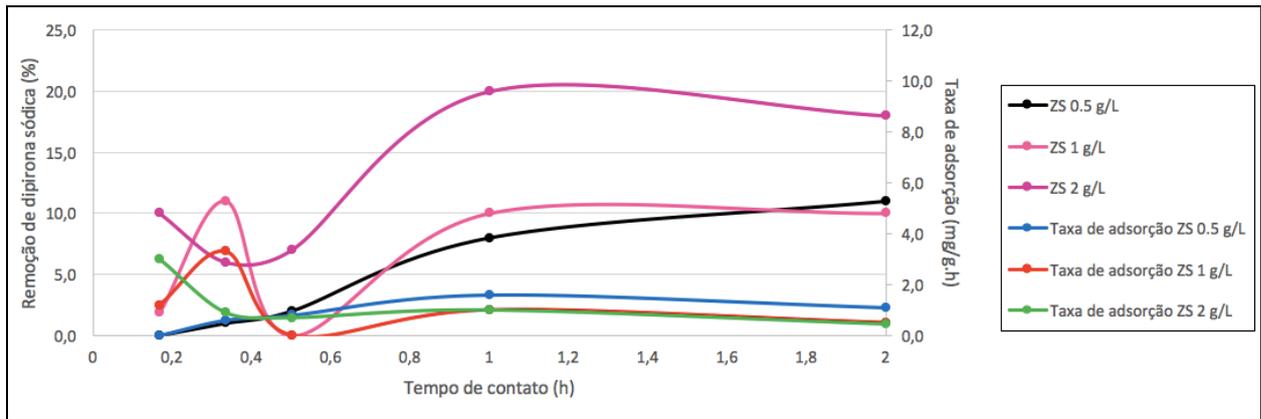


Figura 5. Remoção de dipirona sódica e taxa de adsorção com zeólita clinoptilolita ZS.

Por se tratar de um material com área superficial específica de apenas $27 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ (Leal et. al. 2017), os resultados obtidos sugerem que sejam necessárias dosagens significativamente maiores que as adotadas para que se atinja uma eficiência de remoção que justifique a implantação da unidade. As inconsistências entre os resultados (dipirona residual maior para o tempo de 30 minutos que para o tempo de 20 minutos, na dosagem de $1,0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, por exemplo) podem ocorrer por que os ensaios experimentais para cada dosagem e tempo de contato foram conduzidos de forma independente.

A capacidade de adsorção e a taxa de adsorção obtidas para cada dosagem e tempo de contato, apresentadas na tabela 6, reforçam a hipótese de uma dinâmica mais lenta do processo, como ilustra a figura 5. Neste sentido, torna-se imperativa maior investigação quanto à natureza e seletividade do material, bem como quanto ao mecanismo de adsorção da zeólita, visto que Leal et. al. (2017) relatam que o sucesso da adsorção, neste caso, é dependente das interações entre grupos polares do contaminante e as cargas negativas do adsorvente. Adicionalmente, vale ressaltar que os grupos polares presentes na estrutura molecular do fármaco possuem afinidade pela água, o que concorre com as interações eletrostáticas necessárias ao processo de adsorção sólido-líquido.

CONCLUSÕES

Neste trabalho, investigou-se o processo de adsorção com carvão ativado em pó (CAP), carvão ativado granulado (CAG) e zeólita clinoptilolita (ZS) para a remoção de dipirona em solução aquosa. Os resultados preliminares obtidos indicam que, comparativamente, o adsorvente CAP possui maior capacidade de adsorver o fármaco, tendo alcançado patamares superiores a 90% de remoção neste estudo, independentemente da dosagem de adsorvente utilizada. Adicionalmente, os resultados mostram uma condição de equilíbrio quando a concentração residual de dipirona atinge entre $0,6$ e $0,8 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. A taxa de adsorção consideravelmente elevada nos primeiros 30 minutos de contato adsorvente-adsorvato, por sua vez, sugere que o processo possui potencial técnico e econômico para ser adotado para a remoção do fármaco em uma variedade de aplicações. Quanto ao adsorvente CAG, os resultados mostram que o material tem aplicabilidade prática na remoção da dipirona, porém requer a instalação de filtros maiores na planta, de forma a garantir maior quantidade de adsorvente disponível e maior tempo de detenção hidráulica. Esta conclusão está ancorada na obtenção de 87% de eficiência de remoção de dipirona com a dosagem de $2,0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ de CAP e tempo de contato de 120 minutos. Neste caso, a definição da melhor condição operacional envolverá a análise da dicotomia quantidade (e custo) do adsorvente *versus* tempo de detenção hidráulica. Os ensaios experimentais conduzidos com zeólita, no entanto, foram insuficientes para a identificação da dosagem e do tempo de contato mínimos requeridos para a adsorção adequada da dipirona. Dentre os objetos de estudo para melhor utilização da zeólita destacam-se o mecanismo de adsorção sólido-líquido, influenciado pelas diferentes forças eletrostáticas presentes, bem como a seletividade do próprio material.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. 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.
2. BENSENOR, I. M. To use or not use dipyrone? Or maybe, central station versus ER? That is the question. São Paulo Med. J. , São Paulo, v. 119, p. 190-191, 2001.
3. CARVALHO, T. O.; MATIAS, A. E. B.; BRAGA, L. R.; EVANGELISTA, S. M.; PRADO, A. G. S. Calorimetric studies of removal of nonsteroidal anti-inflammatory drugs diclofenac and dipyrone from water. J. Therm. Anal. Calorim., v.106, p.475-481, 2011.
4. DRAMAN, S. F. S.; BATRA'AZMAN, I. A.; MOHD, N. Removal of paracetamol from aqueous solution by dried cellulose and activated carbon. ARPN-JEAS, v. 10, n. 20, nov. 2015.
5. GHISELLI, G. Avaliação da qualidade das águas destinadas ao abastecimento público na região de Campinas: ocorrência e determinação dos interferentes endócrinos (IE) e produtos farmacêuticos e de higiene pessoal (PFHP). 2006. 190 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.
6. LEAL, M.; MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ, V.; MEFFE, R.; LILLO, J.; BUSTAMANTE, I. Clinoptilolite and palygorskite as sorbents of neural emerging organic contaminants in treated wastewater: sorption-desorption studies. Chemosphere, v. 175, p.534-542, 2017
7. LESSA, E. F.; NUNES, M. L.; FAJARDO, A. R. Chitosan/waste coffee-grounds composite: An efficient and eco-friendly adsorbent for removal of pharmaceutical contaminants from water. Carbohydrates polymers, v. 189, p. 257-266, 2018.
8. LIMA, D. R. S.; TONUCCI, M. C.; LIBÂNIO, M.; AQUINO, S. F. Fármacos e desreguladores endócrinos em águas brasileiras: ocorrência e técnicas de remoção. Eng. Sanit. Amb. v. 22, n. 6, p.1043-1054, 2017.
9. NASCIMENTO, A. P. Desenvolvimento e validação de metodologia para medicamentos contendo dipirona sódica e cloridrato de papaverina isolados e em associação. 2005. 141 f. Tese (Doutorado em Fármaco e Medicamentos) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
10. SALIHI, E. Ç. Adsorption of metamizole sodium by activated carbon in simulated gastric and intestinal fluids. J. Turk. Chem. Soc., v. 5, n. 1, p. 237-246, 2018.
11. SOUZA, N. C. Avaliação de micropoluentes emergentes em esgotos e águas superficiais. 2011. 166 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.