



## II-030 – REMOÇÃO DE FÁRMACOS PRESENTES EM MEIO AQUOSO POR ADSORÇÃO EM CARVÃO ATIVADO

**Selêude Wanderley da Nóbrega<sup>(1)</sup>**

Engenheira Química pela Universidade Federal da Paraíba. Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal de São Carlos. Doutora em Engenharia Química pela Universidade Federal de São Carlos. Professora Associada do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas.

**Christiano Cantarelli Rodrigues**

Engenheiro Química pela Universidade Federal da Paraíba. Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal de São Carlos. Doutor em Engenharia Química pela Universidade Federal de São Carlos. Professor Associado do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas.

**Aline Neves da Silva**

Aluna de Graduação do Curso de Engenharia Ambiental do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas. Bolsista PET.

**Bárbara Karoline Soares Fernandes Dantas**

Aluna de Graduação do Curso de Engenharia Ambiental do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas. Bolsista PIBIC.

**Milena Ferreira de Lima Souza**

Aluna de Graduação do Curso de Engenharia Ambiental do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas. Bolsista PIBIC.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Av Lourival de Melo Mota, S/N – Campus A. C. Simões – Centro de Tecnologia – Tabuleiro dos Martins – Maceió – AL – CEP.: 57.072-900 - Brasil - Tel: (82) 3214 1306 - e-mail: swn@ctec.ufal.br

### RESUMO

A remoção de quatro fármacos contidos em meio aquoso foi investigada através da adsorção em carvão ativado, obtidos a partir do endocarpo do coco-da-baía, pelo processo de ativação química. As amostras de carvão foram testadas em relação à sua capacidade de remoção dos fármacos e desempenho cinético. Os resultados obtidos mostraram que as amostras testadas apresentam, no geral, altas eficiências de remoção dos fármacos e uma cinética que pode ser bem representada pelo modelo de pseudo-segunda ordem, com taxa de adsorção relativamente rápida. Dentre as amostras testadas, aquelas ativadas com o cloreto de zinco parecem reunir as melhores características para a remoção dos fármacos estudados, nomeadamente, ácido acetilsalicílico (AAS), cafeína, dipirona e paracetamol.

**PALAVRAS-CHAVE:** Adsorção, Fármacos, Carvão ativado.

### INTRODUÇÃO

A indústria e o crescimento populacional têm contribuído com quantidades cada vez mais significativas de efluentes contaminados por diferentes compostos orgânicos. Dentre estes, os fármacos e os produtos de cuidados pessoais têm se destacado, devido o aumento no seu consumo e na sua produção.

Produtos de cuidados pessoais e fármacos são elementos importantes e indispensáveis da vida moderna. Nas últimas décadas, estes contaminantes têm sido encontrados em muitos efluentes, o que tem despertado cada vez mais o interesse por seu estudo [1-5]. Embora estes produtos sejam encontrados no ambiente em baixas concentrações (ng -  $\mu$ g L<sup>-1</sup>), geram grande preocupação porque os mesmos são substâncias biologicamente ativas que podem causar efeitos dinâmicos em organismos aquáticos, prejudicando a qualidade dos recursos hídricos e alterando o equilíbrio destes ecossistemas.

A presença de fármacos em rios, águas subterrâneas e até mesmo em águas servidas é uma constatação recorrente, segundo vários estudos publicados na literatura [6-13]. Em virtude da sua contínua introdução no ambiente, estes poluentes são considerados compostos pseudopersistentes no meio ambiente e,

consequentemente, possíveis responsáveis por vários efeitos relacionados à saúde humana e aos ecossistemas aquáticos.

Medicamentos humanos e veterinários são continuamente lançados no ambiente, principalmente como resultado dos processos de produção, de descartes inadequados ou excreção metabólica. As rotas de entrada mais significativas de fármacos no ambiente estão relacionadas com o lançamento de efluentes das estações convencionais de tratamento (ETEs) e os excrementos dos animais [14-17].

Apesar da existência de várias técnicas de tratamento de efluentes, não há um processo único capaz de remover os compostos orgânicos de um modo geral, principalmente devido à natureza complexa dos mesmos. Neste contexto os pesquisadores têm buscado desenvolver e/ou estudar tecnologias de baixo custo para o tratamento eficiente destes efluentes. Dentre os processos de tratamento disponíveis, a adsorção em carvão ativado, tem se mostrado como uma alternativa promissora na remoção de fármacos [3,18-21].

Neste contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar a aplicação de amostras de carvão ativado produzidas a partir do endocarpo do coco-da-baía, um dos principais resíduos agrícolas do Nordeste do Brasil, e ativadas quimicamente com cloreto de zinco ( $ZnCl_2$ ) e ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ), no tratamento de águas residuárias contaminadas com fármacos, nomeadamente, paracetamol, ácido acetilsalicílico, cafeína e dipirona, através da adsorção.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Preparação das amostras de carvão ativado

O endocarpo do coco, precursor das amostras de carvão ativado, foi obtido em indústrias de Maceió - AL, Brasil. A preparação dessas amostras seguiu o procedimento descrito em trabalhos anteriores [22, 23]. A Tabela 1 apresenta as principais condições de preparação destas amostras.

As amostras de carvão produzidas foram então moídas e peneiradas para a obtenção de um material com granulometria abaixo de 100 mesh, as quais foram caracterizadas com relação aos seguintes parâmetros: pH no ponto de carga zero ( $pH_{PZC}$ ), análise elementar e área superficial específica.

**Tabela 1 - Condições de preparação das amostras de carvão ativado**

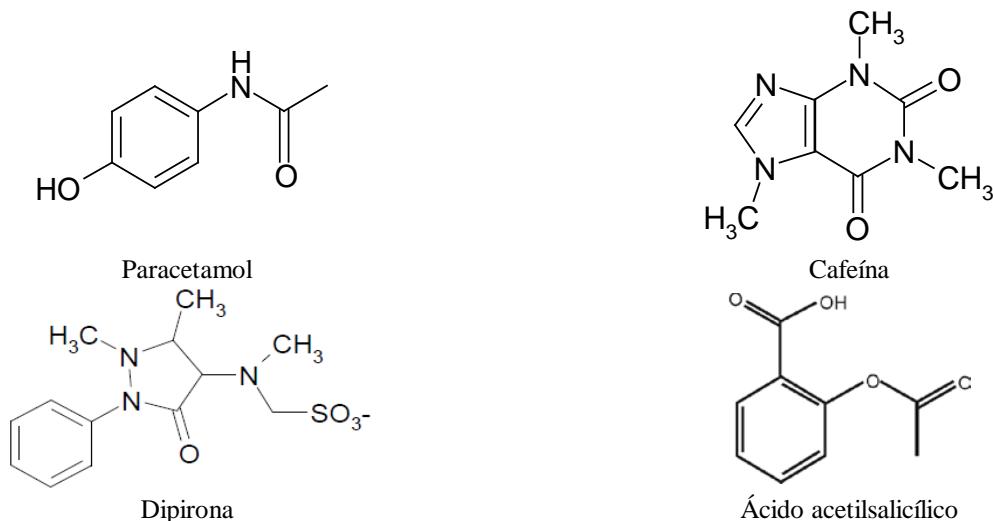
Carvão	Agente ativante	Temperatura (°C)	$x_{ca}$ (w/w)
SE-3	$ZnCl_2$	700	0,4
SE-5			2,5
SE-B	$H_3PO_4$	550	0,4
SE-F			2,5

### Adsorvatos

Os adsorvatos utilizados neste estudo foram os seguintes fármacos: ácido acetilsalicílico, paracetamol, dipirona e cafeína. A Tabela 2 apresenta algumas características destes fármacos, cujas estruturas moleculares são apresentadas na Figura 1.

**Tabela 2 - Características dos adsorvatos.**

Adsorvatos	Massa molecular (g/mol)	$\lambda$ (nm)	pKa (–)
Ácido acetilsalicílico	180,14	231	3,49 [24]
Cafeína	194,10	272	10,4 [4]
Dipirona	311,35	233	3,77 [25]
Paracetamol	151,17	243	9,4 [4]



**Figura 1 - Estrutura molecular dos adorvatos**

### Estudos da adsorção

A fim de avaliar a eficiência de remoção dos adsorvatos estudados por adsorção nas amostras de carvão ativado usadas, experimentos de adsorção em batelada foram realizados para cada sistema adsorvente-adsorvato, em temperatura ambiente (25 °C) e pH = 2. Nestes testes, 40 mL de solução aquosa com concentração inicial do fármaco conhecida (90 mg/L) foram colocados em contato e sob agitação constante com 0,5 g/L de adsorvente. Após um período de agitação de 24 horas, uma alíquota desta suspensão era filtrada e a concentração final do adsorvato na solução remanescente era medida, por espectrometria UV-VIS. A eficiência de remoção do adsorvato era calculada usando a seguinte relação:

$$\text{Eficiência de Remoção (\%)} = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100 \quad \text{equação (1)}$$

na qual  $C_o$  e  $C_e$  são as concentrações inicial e final do adsorvato, respectivamente.

As curvas cinéticas foram obtidas colocando-se 1000 mL de soluções aquosas de fármaco, com concentração inicial conhecida (90 mg/L), em contato com uma dose de 0,5 g/L de adsorvente. Essas misturas eram mantidas em agitação constante durante 8 horas e ao longo desse tempo, em períodos de tempo pré-estabelecidos, amostras desta suspensão eram removidas e imediatamente filtradas para posterior determinação da concentração remanescente do fármaco. A quantidade de adsorvato retido na fase adsorvente ao longo do tempo ( $q_t$ ) era calculada por um simples balanço de massa.

## RESULTADOS DA PRIMEIRA ETAPA

### Características dos adsorventes

Os resultados da caracterização das amostras de carvão ativado usadas neste estudo, obtidos em estudos anteriores [22,23] estão resumidos na Tabela 3. Conforme pode ser observado nesta tabela, a ativação com ambos os agentes químicos produziu carvões com características texturais semelhantes, para uma mesma taxa de impregnação ( $x_{ca}$ ). Contudo a taxa de impregnação apresentou um efeito acentuado na  $A_{BET}$  e distribuição de poros, dentro do intervalo testado, para ambos os agentes químicos. Este mesmo efeito também foi observado por outros pesquisadores [26;27]. Segundo os dados de  $pH_{PZC}$  apresentados na Tabela 3, pode-se observar que o uso de diferentes agentes químicos produziu amostras de carvão ativado com diferentes características químicas, sugerindo que as amostras ativadas com o ácido fosfórico apresentou superfícies mais ácidas que as amostras ativadas com  $ZnCl_2$ , haja vista que estas últimas apresentaram valores maiores de  $pH_{PZC}$ . Entretanto, a taxa de impregnação não apresentou efeito significativo no  $pH_{PZC}$ .

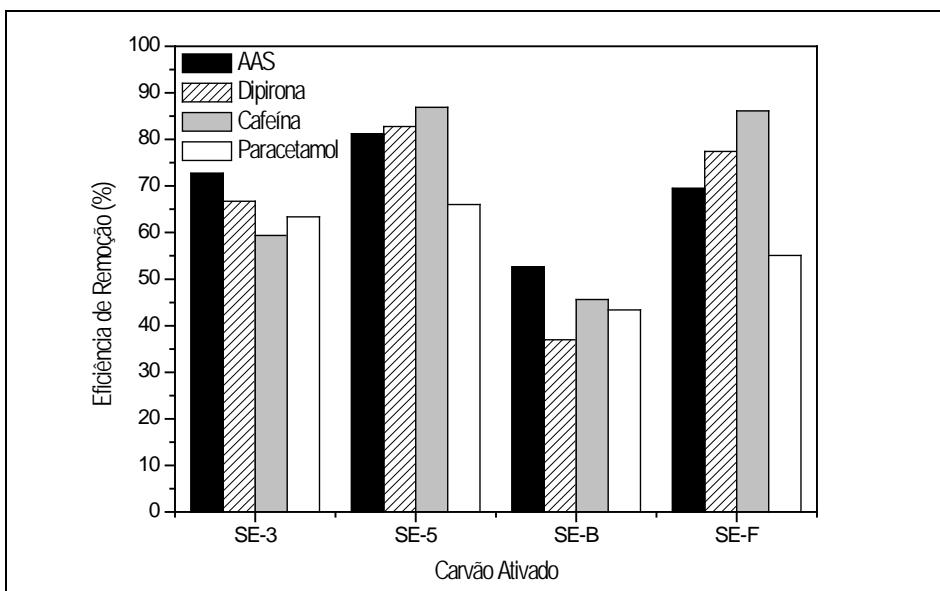
**Tabela 3 - Características das amostras de carvão ativado**

Carvão ativado	ABET <sup>a</sup> (m <sup>2</sup> /g)	Volume total de poro <sup>b</sup> (cm <sup>3</sup> /g)	Volume de microporo <sup>c</sup> (cm <sup>3</sup> /g)	Microporosidade (%)	pHPZC
SE-3	774	0,36	0,31	86	7,0
SE-5	1605	0,98	0,55	56	6,4
SE-B	793	0,37	0,33	89	3,2
SE-F	1529	0,92	0,52	57	3,2

<sup>a</sup> método de BET; <sup>b</sup> quantidade de N<sub>2</sub> adsorvida em p/p<sup>0</sup> = 0,95; <sup>c</sup> método de Dubinin-Radushkevich

### Eficiência de remoção

Todas as quatro amostras de carvão foram testadas para avaliar a sua capacidade de adsorção dos fármacos estudados. Esses resultados estão apresentados na Figura 2. Observa-se nestas figuras, que as amostras de carvão apresentam elevada eficiência de remoção dos fármacos. De um modo geral vê-se que o aumento da taxa de impregnação (x<sub>ca</sub>) apresentou um efeito significativo na remoção dos fármacos e que, comparativamente, para uma mesma taxa de impregnação os carvões mais neutros (SE-3 e SE-5) foram mais eficientes na remoção dos contaminantes. Dentre as amostras testadas, o carvão ativado SE-5 é aquele que reúne, nas condições estudadas, as melhores características para a adsorção dos fármacos paracetamol, AAS, dipirona e cafeína. O fato de carvões com características texturais semelhantes apresentarem remoções distintas para um mesmo fármaco, sugere que o mecanismo da adsorção destes fármacos seja um processo complexo e sofra influência da natureza química da superfície do carvão.



**Figura 2 - Eficiência de remoção dos adsorvatos estudados pelas amostras de carvão: C<sub>o</sub> = 90 mg/L; C<sub>carvão</sub> = 0,5 g/L; T = 25 °C; pH = 2 - t = 24 h.**

### Estudos cinéticos

Existem vários modelos citados na literatura para descrever a cinética da adsorção [28]. Neste estudo, entretanto, apenas os modelos cinéticos de pseudo-primeira ordem e pseudo-segunda ordem foram testados e, de acordo com o coeficiente de correlação ajustado ( $R^2$  ajustado), o modelo de pseudo-segunda ordem, escrito na sua forma não-linear, foi o que melhor representou os dados experimentais da cinética de adsorção para todas as condições testadas.

O modelo de pseudo-segunda ordem pode ser expresso na seguinte forma:

$$\frac{dq_t}{dt} = k (q_e - q_t)^2 \quad \text{equação (2)}$$

na qual  $k$  é a constante cinética de pseudo-segunda ordem ( $\text{g mg}^{-1} \text{ min}^{-1}$ ),  $q_e$  e  $q_t$  são as capacidades de adsorção ( $\text{mg g}^{-1}$ ) no equilíbrio e em um tempo  $t$ , respectivamente. Considerando as condições inicial e final,  $q = 0$  para  $t = 0$  e  $q = q_e$  para  $t = t$ , respectivamente, a Equação 2 na sua forma integrada é dada por:

$$q_t = \frac{k q_e^2 t}{1 + k q_e t} \quad \text{equação (3)}$$

A cinética da adsorção do ácido acetilsalicílico e da dipirona, em fase aquosa, sobre todas as amostras de carvão foram avaliadas nas seguintes condições experimentais:  $C_0 = 90 \text{ mg/L}$ ,  $T = 25^\circ\text{C}$ ,  $\text{pH} = 2,0$  e  $C_{\text{carvão}} = 0,5 \text{ g/L}$ . Diferentemente destes, os ensaios cinéticos da adsorção do paracetamol e da cafeína foram realizados em pH inicial igual a 5,8. Os resultados experimentais de todos estes testes apresentaram uma adequada correlação com o modelo de pseudo-segunda ordem, conforme exemplificado nas Figuras 3 e 4, quando da adsorção dos fármacos na amostra de carvão SE-5, cujos parâmetros de ajuste obtidos estão resumidos na Tabela 4.

Os resultados apresentados nas Figuras 3 e 4 confirmam a tendência observada na Figura 2, na qual o carvão ativado SE-5 apresenta o seu melhor desempenho quanto à adsorção da cafeína.

Comparativamente, observa-se na Figura 3, que a cinética da adsorção do AAS foi mais rápida que a da dipirona, entretanto a capacidade de adsorção no equilíbrio foi inferior a obtida pela adsorção da dipirona. Na Figura 4 vê-se que o carvão SE-5 adsorve muito rapidamente, tanto a cafeína quanto o paracetamol, sendo contudo a remoção da cafeína substancialmente superior, quando comparado com os demais fármacos, nas condições testadas.

O pH das soluções e o  $\text{pH}_{\text{PZC}}$  são fatores muito importantes na interação eletrostática entre o carvão e os fármacos, uma vez que, devido à natureza anfotérica do carvão, este apresenta uma superfície carregada negativamente em soluções com  $\text{pH} > \text{pH}_{\text{PZC}}$  e positiva para  $\text{pH} < \text{pH}_{\text{PZC}}$  [29]. Dessa forma, pode-se constatar que as interações entre as superfícies dos carvões e os fármacos devem ter sido predominantemente de natureza dispersiva, haja vista que em todas as condições experimentais testadas os fármacos estavam em suas formas moleculares ( $\text{pH}_{\text{solução}} < \text{pK}_a$ ).

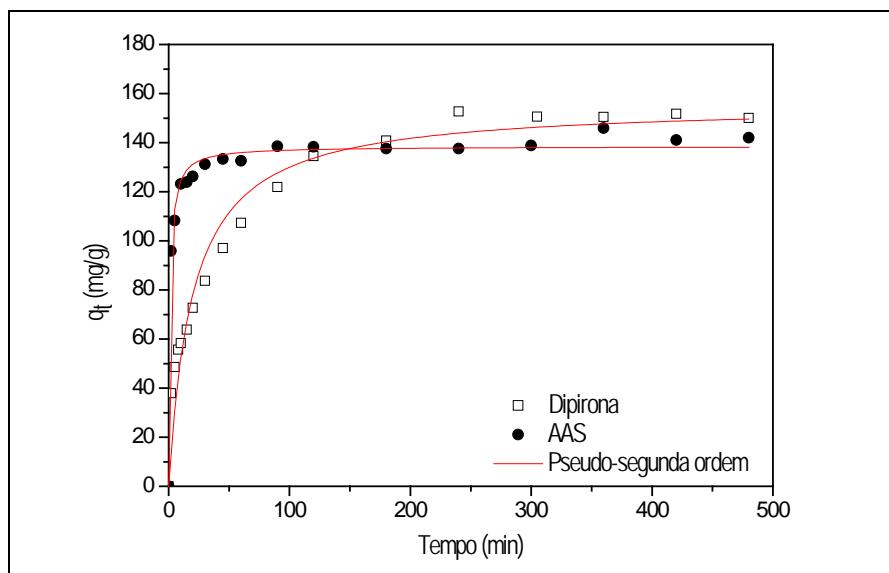
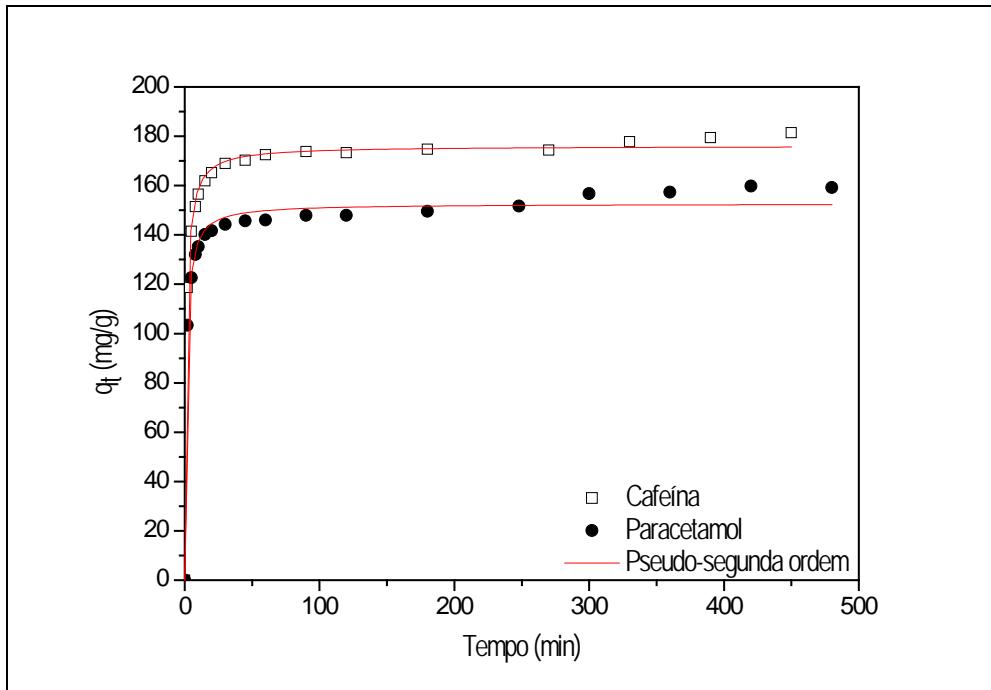


Figura 3 - Cinéticas da adsorção da dipirona e do ácido acetilsalicílico sobre o carvão SE-5  $\text{pH} = 2,0$ ;  $C_{\text{carvão}} = 0,5 \text{ g/L}$ ;  $C_0 = 90 \text{ mg/L}$ ;  $T = 25^\circ\text{C}$



**Figura 4 - Cinéticas da adsorção da cafeína e do paracetamol sobre o carvão SE-5 pH = 5,8; C<sub>carvão</sub> = 0,5 g/L; C<sub>0</sub> = 90 mg/L; T = 25 °C**

**Tabela 4 - Parâmetros cinéticos do modelo de pseudo-segunda ordem**

Carvão Ativado	Adsorvato	pH	q <sub>e</sub> (mg/g)	k × 10 <sup>3</sup> (g mg <sup>-1</sup> min <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup> Ajustado
SE-5	Dipirona	2,0	155,8 ± 4,6	0,32 ± 0,05	0,959
	AAS		138,5 ± 1,2	6,51 ± 0,74	0,987
	Cafeína	5,8	176,0 ± 0,9	5,14 ± 0,32	0,996
	Paracetamol		152,6 ± 1,2	5,88 ± 0,60	0,988

## CONCLUSÕES

A potencialidade de amostras de carvão ativado obtidas do endocarpo do coco-da-baía pelos processos de ativação química com ácido fosfórico e cloreto de zinco foi investigada. Neste estudo observou-se que as quatro amostras testadas apresentaram diferentes capacidades de remoção em condições experimentais semelhantes, sugerindo que o processo de adsorção destes fármacos é complexo e que tanto as propriedades texturais quanto químicas das amostras de carvão têm forte influência sobre este processo. Em todas as situações testadas, o modelo cinético de pseudo-segunda ordem foi o que melhor representou os dados experimentais, apresentando no geral uma taxa de adsorção razoavelmente rápida. Dentre as amostras de carvão testadas aquelas ativadas com o cloreto de zinco parecem apresentar as características mais favoráveis para a adsorção dos fármacos avaliados. De um modo geral, é possível concluir que o uso da adsorção em carvão ativado parece ser uma alternativa viável de tratamento promissora para se evitar que estes poluentes emergentes sejam lançados no meio aquático.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. DAUGHTON, C.G.; TERNES, T.A.. Pharmaceuticals and personal care products in the environment: agents of subtle change?. *Environmental Health Perspectives*, 107, p.907–938, 1999.
2. SABA, P.; BROWN, W.A.; OMANOVIC, S.. Interactive behavior of caffeine at a platinum electrode surface. *Materials Chemistry and Physics*, 100 p. 285–291, 2006.
3. MESTRE, A.S.; PIRES, J.; NOGUEIRA, J.M.F.; CARVALHO, A.P.. Activated carbons for the adsorption of ibuprofen. *Carbon* 45, p. 1979–1988, 2007.
4. SNYDER, S.A.; ADHAM, S.; REDDING, A.M.; CANNON, F.S.; DECAROLIS, J.; OPPENHEIMER, J.; WERT, E.C.; YOON, Y.. Role of membranes and activated carbon in the removal of endocrine disruptors and pharmaceuticals. *Desalination* 202, p. 156–181, 2007.
5. FENT, K.; WESTON, A.A.; CAMINADA, D.. Ecotoxicology of human pharmaceuticals. *Aquatic Toxicology* 76, p. 122-159, 2006.
6. BOYD, G.R.; PALMERI, J.M.; ZHANG, S.; GRIMM, D.A.. Pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) and endocrine disrupting chemicals (EDCs) in stormwater canals and Bayou St. John in New Orleans, Louisiana, USA. *Science of the Total Environment* 333, p.137– 148, 2004.
7. HERNANDO, M. D.; MEZCUA, M.; FERNÁNDEZ-ALBA, A. R.; BARCELÓ, D.. Environmental risk assessment of pharmaceutical residues in wastewater effluents, surfasse Waters and sediments. *Talanta*, 68, p. 334-342, 2006.
8. KUSTER, M.; ALDA, M.J.L.; HERNANDO, M.D.; PETROVIC, M.; MARTÍN-ALONSO, J.; BARCELÓ, D.. Analysis and occurrence of pharmaceuticals, estrogens, progestogens and polar pesticides in sewage treatment plant effluents, river water and drinking water in the Llobregat river basin (Barcelona, Spain). *Journal of Hydrology* 358, p.112-123, 2008.
9. ORT, C.; LAWRENCE, M.G.; REUNGOAT, J.; EAGLESHAM, G.; CARTER,S.; KELLER, J.. Determining the fraction of pharmaceutical residues in wastewater originating from a hospital. *Water Research* 44, p. 605-615, 2010.
10. FELDMANN, D.F.; ZUEHLKE, S.; HEBERER, T.. Occurrence, fate and assessment of polar metamizole (dipyrone) residues in hospital and municipal wastewater. *Chemosphere* 71, p.1754-1764, 2008.
11. TEIJON, G.; CANDELA, L.; TAMOH, K.; MOLINA-DÍAZ, A.; FERNÁNDEZ-ALBA, A.R.. Occurrence of emerging contaminants, priority substances (2008/105/CE) and heavy metals in treated wastewater and groundwater at Depurbaix facility (Barcelona, Spain). *Science of the Total Environment* 408, p.3584–3595, 2010.
12. HEBERER, T.. Occurrence, fate, and removal of pharmaceutical residues in the aquatic environment: a review of recent research data. *Toxicology Letters* 131, p.5–17, 2002.
13. KOLPIN, D.W., FURLONG, E.T., MEYER, M.T., THURMAN, E.M., ZAUGG, S.D., BARBER, L.B., BUXTON, H.T.. Pharmaceuticals, hormones, and other organic wastewater contaminants in US streams, 1999–2000: a national reconnaissance. *Environmental Science & Technology* 36, p.1202–1211, 2002.
14. HEBERER, T.. Tracking persistent pharmaceutical residues from municipal sewage to drinking water. *Journal of Hydrology* 266, p. 175–189, 2002.
15. SCHWAIGER, J.; FERLING, H.; MALLOW, U.; WINTERMAYR, H.; NEGELE, R.D.. Toxic effects of the non-steroidal anti-inflammatory drug diclofenac Part I: histopathological alterations and bioaccumulation in rainbow trout. *Aquatic Toxicology* 68, p. 141–150, 2004.
16. CLARA, M.; STRENN, B.; KREUZINGER, N.. Carbamazepine as a possible anthropogenic marker in the aquatic environment: investigations on the behaviour of Carbamazepine in wastewater treatment and during groundwater infiltration. *Water Research* 38, p.947–954, 2004.
17. ARIESE, F.; ERNST, W.H.O.; SIJM, D.T.H.M.. Natural and synthetic organic compounds in the environment—a symposium report. *Environmental Toxicology and Pharmacology* 10, p. 65–80, 2001.
18. OTERO, M.; GRANDE, C.A.; RODRIGUES, A.E.. "Adsorption of salicylic acid onto polymeric adsorbents and activated charcoal. *Reactive & Functional Polymers* 60, p.203–213, 2004.
19. YU, Z.; PELDSZUS, S.; HUCK, P.M.. "Adsorption characteristics of selected pharmaceuticals and an endocrine disrupting compound—Naproxen, carbamazepine and nonylphenol—on activated carbon. *Water Research* 42, p.2873 – 2882, 2008.
20. MESTRE, A.S.; PIRES, J.; NOGUEIRA, J.M.F.; PARRA, J.B.; CARVALHO, A.P.; ANIA, C.O.. "Waste-derived activated carbons for removal of ibuprofen from solution: Role of surface chemistry and pore structure. *Bioresource Technology* 100, p. 1720–1726, 2009.



21. CABRITA, I.; RUIZ, B.; MESTRE, A.S.; FONSECA, I.M.; CARVALHO, A.P.; ANIA C.O.. "Removal of an analgesic using activated carbons prepared from urban and industrial residues. Chemical Engineering Journal 163, p. 249–255, 2010.
22. NÓBREGA, S. W.; RODRIGUES, C.C.; FONSECA, I.. Caracterização e aplicação de carvões ativados produzidos a partir do endocarpo do coco-da-baía por ativação com ácido fosfórico. In: Anais do X SIBESA - Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Maceió-AL, 2010.
23. RODRIGUES, C.C.; NÓBREGA, S. W.; FONSECA, I.. Produção de carvão ativado a partir do endocarpo do coco e sua aplicação no tratamento de efluentes líquidos. In: Anais do X SIBESA - Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Maceió-AL, 2010.
24. BENINATI, S.; SEMERARO, D.; MASTRAGOSTINO, M.. Adsorption of paracetamol and acetylsalicylic acid onto commercial activated carbons. Adsorption Science & Technology. 26( 9), p.721-734, 2008.
25. PITARELLO, A.P.; LINDINI, C.A.; SILVA, C.; FERRI, E.A.V.; SOUZA, M.L.; BARICCIATTI, R.A.. Estudo fotoquímico da dipirona na presença de  $\beta$  e  $\gamma$  ciclodextrina. Acta Scientiarum Health Sciences 27 (2), p. 171-175, 2005.
26. ROSAS, J.M.; BEDIA, J.; RODRÍGUEZ-MIRASOL, J.; CORDERO, T.. HEMP-derived activated carbon fibers by chemical activation with phosphoric acid. Fuel 88, p.19-26, 2009.
27. AHMADPOUR, A.; DO, D.D.. The preparation of activated carbon from macadamia nutshell by chemical activation. Carbon, 35 (12), p.172301732, 1997.
28. HO, Y.S.; McKAY, G.. Sorption of dye from aqueous solution by peat. Chemical Engineering Journal, 70, p.115-124, 1998.
29. MORENO-CASTILLA, C.. Adsorption of organic molecules from aqueous solutions on carbon materials. Carbon, 42, p. 83–94, 2004.