

I-133 - AVALIAÇÃO EM ESCALA PILOTO DA REMOÇÃO DO HERBICIDA 2,4-D E DO SEU METABÓLITO 2,4-DCP NO TRATAMENTO CONVENCIONAL DE ÁGUA ASSOCIADO À ADSORÇÃO EM CARVÃO ATIVADO PULVERIZADO (CAP)

Jacquelinne Fantin Guerra⁽¹⁾

Tecnóloga em Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo. Bióloga e Mestra em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo.

Renata Santos Brega⁽²⁾

Engenheira de Alimentos pela Universidade Federal de Viçosa. Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Universidade Federal do Espírito Santo e Gerenciamento de Unidade Básica de Saúde pela Universidade de São Paulo - Faculdade de Saúde Pública. Mestra em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo. Coordenadora da Área Técnica de Alimentos da Vigilância Sanitária - Prefeitura de Vitória/Secretaria Municipal de Saúde.

Edumar Ramos Cabral Coelho⁽³⁾

Engenharia Civil pela Universidade Federal do Espírito Santo. Mestra em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos. Doutora em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos. Professora associada da Universidade Federal do Espírito Santo.

Endereço⁽¹⁾: Rua Henrique Martins Tuche, 115 – Goiabeiras - Vitória - ES - CEP: 29072-320 - Brasil - Tel: (27) 3327-5844 - e-mail: jackguerra.87@gmail.com

Endereço⁽²⁾: Rua Coronel Schwab Filho, 310/1101 – Bento Ferreira - Vitória - ES - CEP: 29070-580 - Brasil - Tel: (27) 2142-1447 - e-mail: renatabrega@gmail.com

Endereço⁽³⁾: Avenida Fernando Ferrari nº 840 - Campus Goiabeiras CEP 29060-900 – Vitória/ES, Brasil - Tel: 55 27 3335-2065 - e-mail: edumarcoelho@yahoo.com.br

RESUMO

O uso indiscriminado de agrotóxicos no país tem suscitado a preocupação de profissionais de diversos setores em razão dos riscos potenciais que essas substâncias trazem ao ambiente e aos seres humanos. Nesse contexto, a água para consumo humano pode ser uma importante forma de exposição. Considerando a limitação do tratamento convencional na remoção destes compostos e diante da fixação de padrões de portabilidade cada vez mais restritivos, torna-se necessário o uso de tratamentos que removam esses microcontaminantes das águas de abastecimento. Dentre as tecnologias existentes, a adsorção em CAP é considerada uma das mais efetivas e confiáveis, cujas vantagens incluem alta eficiência de remoção e facilidade de operação. O objetivo deste artigo é avaliar a remoção dos herbicidas 2,4-D, seu metabólito, 2,4-DCP, e o 2,4,5-T, utilizando a adsorção em carvão ativado pulverizado associada ao tratamento convencional em escala piloto. Os agrotóxicos foram detectados e quantificados através da cromatografia líquida de alta eficiência, em metodologia validada. As amostras coletadas foram caracterizadas de acordo com os parâmetros: temperatura, turbidez, condutividade elétrica, absorbância em 254 nm, cor real, cor aparente, alcalinidade e concentração dos agrotóxicos 2,4-D e ácido 2,4,5-T e do metabólito 2,4-DCP. Os diferentes ensaios foram avaliados em termos da taxa de remoção destes parâmetros. Como resultado no tratamento convencional com adição de CAP o composto de interesse foi removido abaixo de 30 µg.L⁻¹, Valor Máximo Permitido, estabelecido pela Portaria do MS nº 2.914/2011.

PALAVRAS-CHAVE: Adsorção, Agrotóxico, Carvão Ativado em Pó, Tratamento de Água.

INTRODUÇÃO

O 2,4 D é amplamente utilizado no Brasil e no mundo, principalmente devido ao seu baixo custo e alta seletividade (HIRADATE, 2007), podendo entrar no meio ambiente através de efluentes e derrames resultantes de sua fabricação e transporte, através da aplicação direta no controle de plantas aquáticas e através da enxurrada ou deriva a partir de áreas tratadas ou lixiviação.

Este composto é removido do ambiente principalmente através da biodegradação por diferentes percursos possíveis e apresenta como principal intermediário a formação de 2,4-DCP (LOOS, 1975). Segundo Bazrafshan E. et al (2013) a meia-vida do 2,4-D em água varia de uma a várias semanas sob condições aeróbicas, e pode exceder 120 dias sob condições anaeróbicas.

A presença destes compostos nos mananciais pode trazer dificuldades para o tratamento da água em virtude da eventual necessidade de tecnologias mais complexas do que aquelas normalmente usadas para a potabilização. Do ponto de vista tecnológico, água de qualquer qualidade pode ser, em princípio, transformada em água potável, porém, os custos envolvidos e a confiabilidade na operação e manutenção podem inviabilizar o uso de um determinado corpo d'água como fonte de abastecimento. Neste sentido, segundo Di Bernardo & Dantas (2005), existe uma relação intrínseca entre o meio ambiente e as tecnologias de tratamento, isto é, em função da qualidade da água de um determinado manancial e suas relações com o meio ambiente, há tecnologias específicas para que o tratamento seja eficientemente realizado.

A maioria das ETAs brasileiras tratam a água através do processo convencional de tratamento. Estes processos compreendem as etapas de coagulação, floculação, decantação ou flotação, filtração e desinfecção. No entanto, trabalhos com os processos convencionais para tratamento de água demonstram que alguns agrotóxicos não são removidos (DI BERNARDO, 2005).

Segundo um estudo realizado em estações de escala plena de tratamento de água na cidade de Alberta no Canadá, não há remoção do 2,4-D no tratamento convencional e por isso eles ressaltam a necessidade de proteção à bacia hidrográfica para minimizar a contaminação das águas de superfície (ENVIRONMENT, 2004).

Os resultados de Gorza (2012) em instalação piloto, também indicaram a ineficiência do tratamento convencional associado à pré-oxidação com cloro e dióxido de cloro na remoção do 2,4-D. Cardoso (2009) e Leal (2013) avaliaram a remoção de 2,4-D, em laboratório, nas etapas de tratamento convencional de água, e também verificaram que não houve remoção do composto.

Dentre as várias tecnologias, destaca-se a adsorção em carvão ativado. Esta tecnologia é considerada uma das mais efetivas para o tratamento de água, cujas vantagens incluem alta eficiência na remoção de microcontaminantes e facilidade de operação (REN, ZHANG e ZHANG, 2011).

Estudos de bancada utilizando CAP já provaram a remoção destes compostos à níveis aceitáveis (LEAL, 2013) seguindo as exigências da Portaria MS 2914/2011 que estabelece um valor máximo permitido (VMP) de 30 $\mu\text{g.L}^{-1}$ para o somatório dos herbicidas 2,4-D e 2,4,5-T.

O presente trabalho foi desenvolvido a fim de avaliar em escala piloto a adsorção deste composto em CAP no tratamento convencional.

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo avaliou a remoção dos herbicidas 2,4D; 2,4-DCP e 2,4,5-T, utilizando a adsorção em CAP associada ao tratamento convencional (TCV) em escala piloto. A água bruta foi contaminada com 2,4-D e submetida ao TCV associado à adsorção em CAP.

A pesquisa foi desenvolvida na Instalação Piloto (IP) localizada nas dependências físicas da ETA da CESAN em Carapina/Serra-ES e as análises foram realizadas no Laboratório de Saneamento (LABSAN) da UFES.

A água utilizada no tratamento foi proveniente do Rio Santa Maria da Vitória que abastece a Zona Norte de Vitória, o município de Serra e o distrito de Praia Grande no município de Fundão. Amostras de água desse manancial já foram utilizadas em estudos anteriores (CARDOSO, 2009; LOUREIRO, 2012; ROZÁRIO, 2012; GORZA, 2012; LEAL, 2013).

O carvão utilizado foi fornecido pela empresa Bahiacarbon, produzido a partir da casca de coco com as seguintes características (Tabela 1).

Tabela 1: Características do CAP e metodologias.

Parâmetro	Metodologia	Valores Médios	
Número de iodo (mg.g^{-1})	MB-3410 - ABNT	606,35	
Massa específica aparente (g.cm^{-3})	MB 3413 - ABNT	0,78	
pH	D 6851/02 - ASTM	8,71	
Teor de cinzas (%)	D 2866/99 - ASTM	30,60	
Teor de umidade (%)	D 2867/04 - ASTM	3,71	
Área superficial específica ($\text{m}^2.\text{g}^{-1}$)	BET N_2 77 K	630	
Distribuição de volume de poros	QSDFT	Microporos (6 a 20 Å)	Mesoporos (20 a 500 Å)
		0,290	0,095

A INSTALAÇÃO PILOTO

As principais unidades que compõem a IP projetada para uma vazão nominal de 1000 L.h^{-1} são do tipo convencional, devidamente adaptada à escala de construção e sua concepção foi prevista de forma que todo o fluxo de água e soluções químicas fossem feitos por gravidade.

A IP funcionava em dois níveis (pavimentos), sendo que no primeiro pavimento ficavam as seguintes unidades: um decantador de fluxo vertical de alta taxa, dois filtros rápidos de gravidade de dupla camada (areia e antracito), uma coluna de carvão ativado e um tanque de contato. No segundo pavimento encontram-se: a caixa de chegada de água bruta, dispositivos hidráulicos de mistura rápida e dispersão de soluções, três câmaras de floculação mecanizadas, bombas dosadoras e instrumentos de controle de rotação dos motores para cada câmara de floculação, além dos tanques de solução de produtos químicos, os dosadores de nível constante e aparelho de medição de vazão de água bruta. A Figura 1 mostra a representação esquemática da IP e a foto atual encontra-se na Figura 2.

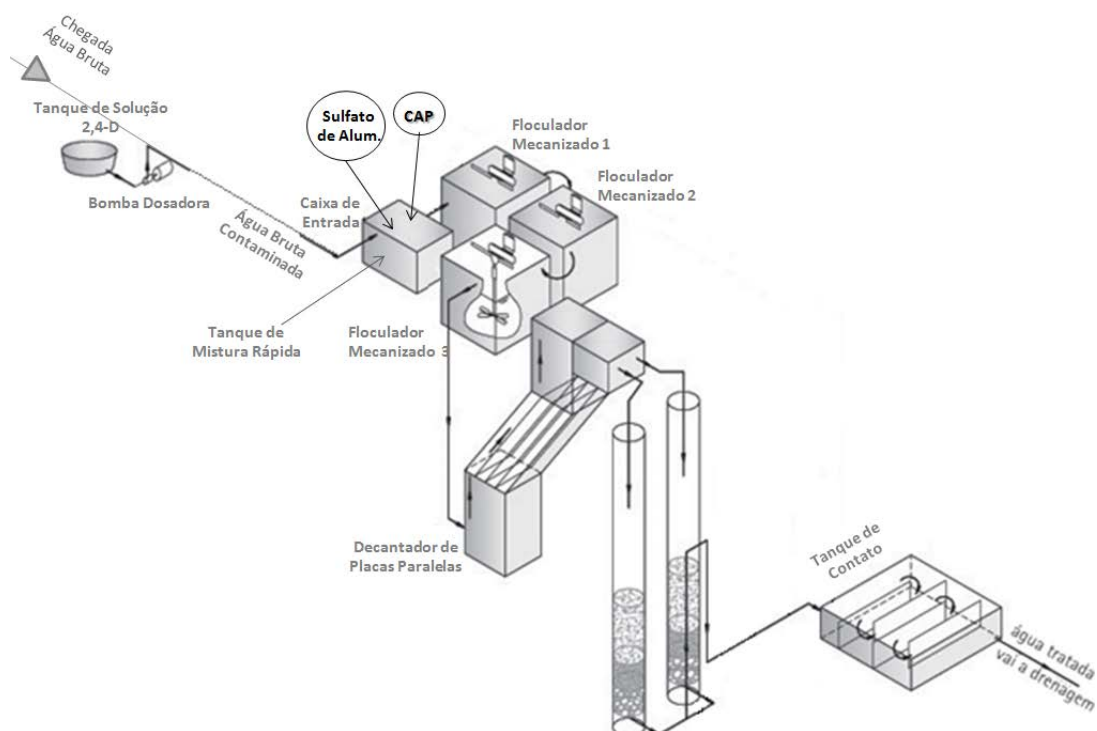


Figura 1: Representação esquemática das unidades da IP.

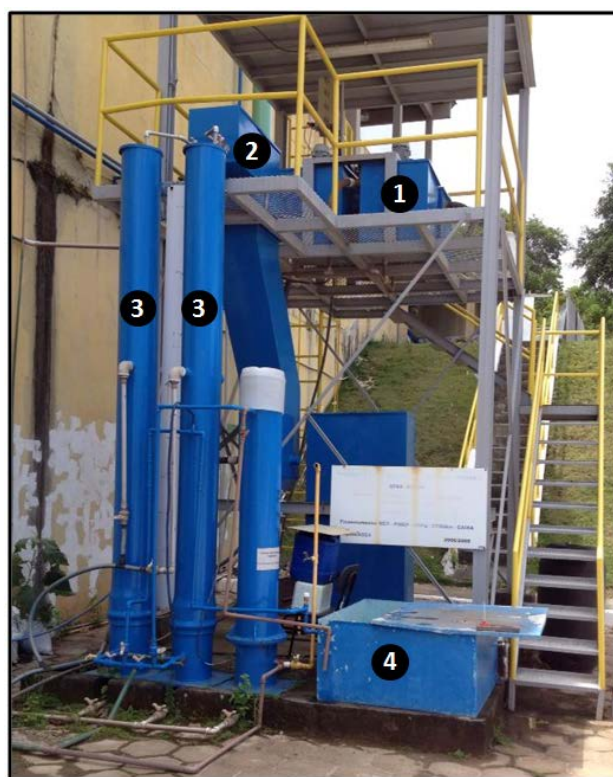


Figura 2 - Instalação Piloto. 1:Floculador Mecanizado; 2:Decantador; 3: Filtros Rápidos; 4: Tanque de Contato

DEFINIÇÃO DAS DOSAGENS DOS REAGENTES

O coagulante e dosagem utilizados foram definidos a partir do diagrama de coagulação desenvolvido por Leal (2013), ensaios de bancada com equipamento jarteste e ensaios na IP, tendo sempre como parâmetro o limite de turbidez estabelecido na Portaria MS nº 2.914/2011. O coagulante utilizado foi o sulfato de alumínio líquido na concentração de 0,5%.

As dosagens de cloro ativo utilizadas no ensaio levaram em consideração a Portaria MS nº 2.914/2011. Segundo a portaria, é obrigatória a manutenção de, no mínimo, $0,2\text{mg.L}^{-1}$ de cloro residual livre (CRL) em toda a extensão do sistema de distribuição (reservatório e rede).

Considerando fatores limitantes na aquisição do desinfetante, foi empregado o produto comercial dicloroisocianurato de sódio dihidratado com 25% de cloro disponível. O ensaio para a determinação da demanda do desinfetante foi realizado em equipamento jarteste, e adaptado conforme metodologia para determinação do consumo de oxidante na pré-oxidação recomendada por DiBernardo, Dantas e Voltan (2011).

O estudo para determinação dos reagentes buscou a otimização do consumo dos produtos químicos e foi adotada como apropriada a menor dose de coagulante e desinfetante, na faixa de pH estabelecida, que promoveu resultados de turbidez e cloro residual livre (CRL) dentro dos parâmetros estabelecidos pela Portaria MS nº 2914/2011 (BRASIL, 2011). Não houve necessidade da correção do pH na etapa da coagulação, sendo dispensado o uso de produto alcalinizante ou acidificante.

ETAPAS DO EXPERIMENTO

1- Preparo da solução de 2,4-D em laboratório;

2- Preparo da solução de CAP em laboratório;

2- Ensaios na instalação piloto;

- Determinação dos pontos de coleta;
- Contaminação da água bruta com 2,4-D;
- Teste: Realização das etapas do tratamento convencional associado à adsorção em CAP (adsorção com CAP, coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção) para avaliar a remoção dos herbicidas 2,4-D e do seu metabólito 2,4-DCP;

4- Coleta, armazenamento e caracterização da água bruta e tratada: pH, turbidez, cor aparente, cor verdadeira, cloro residual livre, alcalinidade, condutividade elétrica, absorvância da radiação ultravioleta (UV254) e quantificação do herbicida 2,4D e seu metabólito 2,4 DCP.

A aplicação da suspensão de CAP se deu junto à mistura rápida através de uma bomba dosadora peristáltica considerando o tempo de contato mínimo de 30 minutos. A concentração de 2,4-D adicionada e dosagem de CAP foi de $100\text{ }\mu\text{g.L}^{-1}$.

As coletas foram realizadas em quatro tempos numa carreira de filtração de 10 horas, onde os intervalos de coleta foram previstos considerando o tempo de estabilidade da IP, assim como entre uma coleta e outra. Desta forma, definiu-se que após iniciar o tratamento a primeira coleta aconteceria ao final de quatro horas e as demais de duas em duas horas. Considerou-se, ainda, que em cada tempo eram monitorados cinco pontos do tratamento: (Água bruta Contaminada; Coagulação; Decantação; Filtração e Desinfecção) conforme Figura 3 e Tabela 2.

As concentrações dos herbicidas nas amostras foram analisadas por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) com detector por arranjo de diodos.

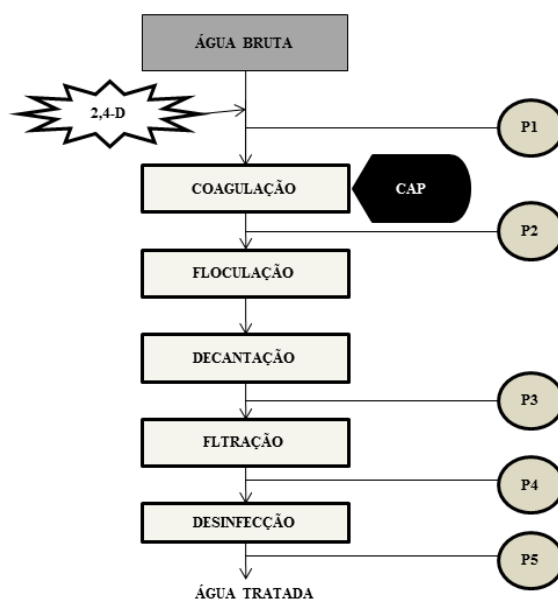


Figura 3: Pontos de aplicação do 2,4D e CAP; e pontos de monitoramento.

Tabela 2: Parâmetros de caracterização, pontos de coleta e métodos de análise.

Parâmetro	Ponto de Coleta	Método	Equipamento
Temperatura (°C)	1	2550 B (APHA, 2012)	Termômetro de mercúrio (2550B)
pH	1,2,4,5	4500 B (APHA, 2012)	pHmetro digital de bancada - Denver Instrument UB-10
Turbidez (uT)	1,3,4,5	2130 B (APHA, 2012)	Turbidímetro - HACH - 2100 P
Alcalinidade (mg.L ⁻¹ CaCO ₃)	1	2320 B (APHA, 2012)	DENVER Instrument UB-10 HECIS
Condutividade Elétrica (µS.cm ⁻²)	1	2510 B (APHA, 2012)	Conduvímeter - Tecnopon mCA 150
Cor Aparente (uH)	1,3,4,5	2120 C (APHA, 2012)	Colorímetro digital portátil – AquaColor Cloro - Policontrol
Cor Verdadeira (uH)	1,3,4,5	2120 C (APHA, 2012)	Espectrofotômetro UV -VIS SPECTRO 580UVP-Marte
Absorvância (UV-254 nm)	1,3,4,5	5910 B (APHA, 2012))	Espectrofotômetro UV -VIS SPECTRO 580UVP-Marte
2,4-D, e 2,4-DCP (µg.L ⁻¹)	1,3,4,5	(LEAL, 2013)	SHIMADZU CBM-20/DAD
2,4,5-T (µg.L ⁻¹)	2	(LEAL, 2013; SOUZA, 2014 e GUERRA, 2014)	SHIMADZU CBM-20/DAD

RESULTADOS

As condições do ensaio de tratamento convencional associado ao CAP estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3: Condições de ensaio.

Parâmetros e Reagentes	Condições e Concentrações Teste [CAP]
Dosagem de sulfato de Alumínio	7 mg.L ⁻¹
Dosagem de 2,4-D	100 µg.L ⁻¹
Dosagem de CAP	100 mg.L ⁻¹
Tempo de contato do CAP	≤ 30 min
Dosagem de Cloro	2 mg.L ⁻¹
Vazão da IP	0,27 L.seg ⁻¹
Duração da Carreira	10 horas (T1, T2, T3 e T4)

Os dados de caracterização da água bruta encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4: Caracterização da água bruta.

Parâmetro	Valores Médios
Temperatura (°C)	23
pH	6,45
Turbidez (NTU)	9,16
Alcalinidade (mg CaCO ₃ .L ⁻¹)	10,6
Condutividade (µS.cm ⁻²)	46,8
Cor aparente (uH)	74
Cor real (uH)	11
Absorbância UV-254 (cm ⁻¹)	0,060

Nas amostras coletadas antes da contaminação da água bruta com o 2,4-D não foi detectada a presença dos herbicidas: 2,4-D; 2,4-DCP nem 2,4,5-T.

Os resultados obtidos com o teste de adsorção em CAP estão apresentados na Tabela 5, e são referentes ao mínimo e máximo dos quatro tempos de coleta.

Tabela 5: Resultados dos parâmetros de controle do teste.

Parâmetros	Valores Mínimo e Máximo (CAP = 100 mg.L ⁻¹)				
	Água Bruta*	Coagulação	Decantação	Filtração	Desinfecção
Alcalinidade (mg CaCO ₃ .L ⁻¹)	10,1 – 10,8	-	-	-	-
Condutividade (µS.cm ⁻²)	46,56 – 47,64	-	-	-	-
Temperatura (°C)	23,0	-	-	-	-
pH	6,35 – 6,72	6,00 – 6,08	-	6,24 – 6,41	6,28 – 6,44
Turbidez (uT)	8,14 – 9,95	-	4,23 – 6,59	0,12 – 0,46	0,13 – 0,50
Cor aparente (uH)	69 - 76	-	26 - 41	ND - 5	ND - 1
Cor real (uH)	8 - 15	-	ND - 1	ND - 1	ND - 1
Absorbância UV-254	0,056 – 0,064	-	0,016 – 0,018	0,016 – 0,019	0,014 – 0,019
CRL (mg.L ⁻¹)	-	-	-	-	1,48 – 1,92
2,4-D (µg.L ⁻¹)	91 - 114	-	24 – 40	24 - 36	19 – 33
2,4-DCP (µg.L ⁻¹)	ALD	-	ALD	ALD	ALD
2,4,5-T (µg.L ⁻¹)	ALD	-	ALD	ALD	ALD

*Água Bruta contaminada com 2,4-D comercial; ALD=Abaixo do limite de detecção (LD = 3,60 e 2,80 µg.L⁻¹); ND=Não Detectado.

Os resultados dos parâmetros de controle de pH, cloro residual, turbidez e cor aparente permaneceram dentro do VMP estabelecido pela Portaria MS nº 2914/2011. De acordo com esta Portaria, o valor máximo permitido de turbidez em água pós-filtração em tratamento completo deve ser 0,5 uT em 95% das amostras e de 15 uH para cor aparente. Portanto, ETA's que não possuem condições de aplicação de CAP junto à captação, a sua dosagem não fica inviabilizada, uma vez que a mesma pode ser efetuada junto à mistura rápida e o tempo de contato entre o CAP e o 2,4-D será o existente no sistema de floculação sem comprometer a qualidade da água.

Os compostos 2,4-DCP ou 2,4,5-T não foram detectados em nenhuma das etapas do tratamento.

Na Figura 4 a remoção do 2,4-D é apresentada em função da concentração do herbicida remanescente em cada etapa do tratamento e a variação das dosagens de CAP através do gráfico de *box-plot*.

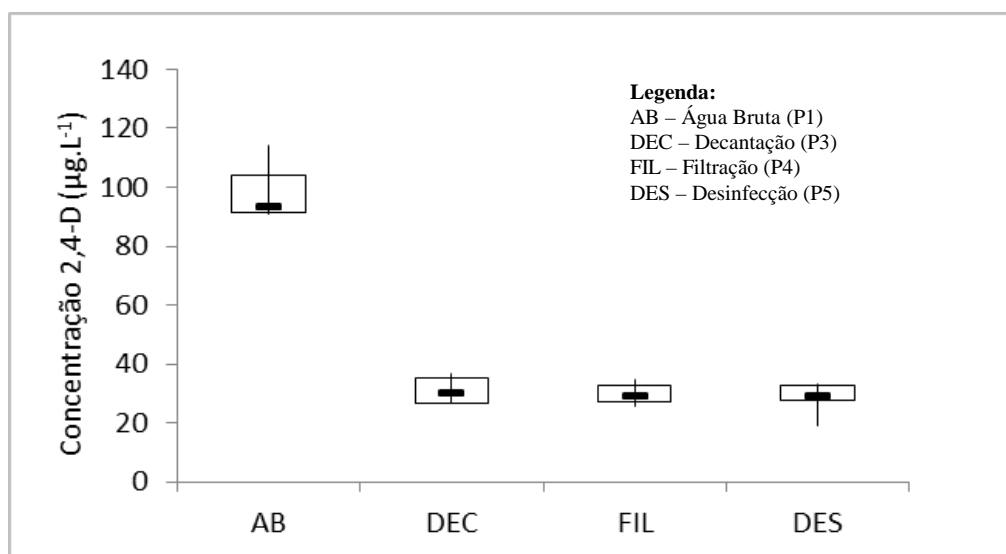


Figura 4: Concentração do 2,4-D com CAP = 100 mg.L⁻¹. As extremidades de cada box-plot representam o primeiro e terceiro quartis, a linha dentro do box representa a mediana, e as extremidades da linha o valores de máximo e mínimo (n=4).

Estudos desenvolvidos em laboratório por Leal (2013) apontaram uma remoção de 2,4-D por adsorção em CAP no TCV de 64% numa dosagem menor (contaminação com 60 µg.L⁻¹ de 2,4-D e adição de 25mg.L⁻¹).

É importante ressaltar que os ensaios em jarreste podem, em alguns casos, superestimar a remoção de contaminantes. No entanto, a baixa remoção do 2,4-D nos ensaios da IP pode ser explicada analisando-se algumas propriedades do composto, tais como, a alta solubilidade em água (620 mg.L⁻¹ a 20°C) e o caráter polar devido aos grupos funcionais presentes em sua estrutura, verifica-se uma menor tendência de adsorção do 2,4-D pelo carvão ativado, visto que este é um adsorvente hidrofóbico (apolar).

Considerando, ainda, o pKa do 2,4-D igual a 2,73, sabe-se que quanto maior a diferença entre os valores do pKa e o pH da solução grande parte das moléculas de 2,4-D encontrar-se-ão na forma dissociada, ou seja, mais polares, diminuindo ainda mais a possibilidade de adsorção em carvão ativado e aumentando, conseqüentemente, sua afinidade pela água (ROZÁRIO, 2012).

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

A dosagem de 100 mg.L⁻¹, no teste de adsorção com CAP foi satisfatória, uma vez que conseguiu uma remoção de 2,4-D com valor médio abaixo do VMP estabelecido pela Portaria MS nº 2194/2011 de 30 µg.L⁻¹;

A aplicação do CAP junto à unidade de mistura rápida não comprometeu a qualidade da água tratada, levando em consideração o padrão de potabilidade;

O metabólito 2,4-DCP não foi detectado nas amostras dos testes 1 e 2 para LD = 3,60 µg.L⁻¹; e

Não foi detectada a contaminação do manancial com o 2,4-D nem 2,4-DCP ou 2,4,5-T considerados os limites de detecção do método empregado durante o ensaio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22nd. ed. NW, Washington, 2012.
2. BAZRAFESHAN E, KORD MOSTAFAPOUR F, FARIDI H, FARZADKIA M, SARGAZI S, SOHRABI A. Removal of 2,4-Dichlorophenoxyacetic Acid (2,4-D) From Aqueous Environments Using Single-Walled Carbon Nanotubes. Health Scope. 2013; 2(1): 39-46.
3. CARDOSO, M. C. Avaliação da remoção do herbicida 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) e do seu principal metabólito 2,4-diclorofenol (2,4-DCP) no sistema convencional de tratamento de água associado à pré oxidação. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2009.
4. DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D.; VOLTAN, P. E. N. Tratabilidade de Água e dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água. São Paulo: Editora LDiBe, 2011.
5. DI BERNARDO, L.; DANTAS, A.D. Métodos e técnicas de tratamento de água. 2. ed. São Carlos: RiMa, 2005. v.1 e 2.
6. ENVIRONMENT, A.; COUNCIL, A. R. A Summary of Pesticide Residue Data from the Alberta Treated Water Survey, 1995-2003. 2004.
7. GORZA, N. L. Remoção de agrotóxicos em uma instalação piloto de tratamento de águas de abastecimento do tipo convencional, associado à pré-oxidação e adsorção em carvão ativado granular. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2012.
8. GUERRA, J. F. Remoção do herbicida 2,4 diclorofenoxiacético (2,4-D) no tratamento convencional de água e associado à adsorção em carvão ativado em pó (CAP) Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014.
9. HIRADATE, S., A. FURUBAYASHI, N. UCHIDA E Y. FUJII. Adsorption of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid by an andosol. J. Environ. Qual., p. 101_109, 2007.
10. LEAL, W. P. Remoção do ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) por adsorção em carvão ativado pulverizado associado ao tratamento convencional de água para consumo humano. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – UFES/CT, 154p, 2013.
11. LOOS, M. Phenoxyalkanoic acids. Herbicides chemistry, degradation, and mode of action., 1975.
12. LOUREIRO, L. F. Avaliação da adsorção do herbicida 2,4-D em carvão ativado em pó e granular por meio de análises de isotermas de adsorção utilizando diferentes qualidades de água. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2012.
13. REN, L.; ZHANG, J.; LI, Y.; ZHANG, C. Preparation and evaluation of cattail fiberbased activated carbon for 2,4-diclorophenol and 2,4,6-triclorophenol removal. Chemical Engineering Journal, nº. 168, p.553-561, 2011.
14. ROZÁRIO, A. Avaliação da remoção do ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) em águas através do uso de carvão ativado granular (CAG) em pequenas colunas (escala experimental). Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal do Espírito Santo, 2012.
15. SOUZA, K. B. Avaliação da remoção do ácido 2,4-diclorofenoxiacético pelo sistema convencional de tratamento de água e pelo processo de nanofiltração. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014.