



I-366 - REMOÇÃO DE ALDEÍDOS, EM CARVÃO ATIVADO EM PÓ, EM OXIDAÇÕES COM CLORO LIVRE EM ÁGUAS DE ABASTECIMENTO CONTENDO ÁCIDOS HÚMICOS

Paulo Eduardo Franquini⁽¹⁾

Bacharel Químico pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Mestrando em Saneamento e Ambiente da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo - FEC/UNICAMP. Atualmente é docente da ETE "Cons. Antonio Prado" – ETECAP, Campinas-SP, nas disciplinas: Química Ambiental e Síntese e Identificação de Compostos Orgânicos.

Rubem Bresaola Junior

Professor Doutor do Departamento de Saneamento e Ambiente da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo - FEC/UNICAMP. Foi Diretor de Educação do CREA - SP, membro do Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo, membro do Conselho Estadual de Saneamento do Estado de São Paulo, membro do CTID/PCJ - SP, acessor FAPESP, CNPQ e FINEP, membro de conselhos editoriais de revistas, de periódicos e de Congressos Nacionais e Internacionais.

Endereço⁽¹⁾: R. Elidia Ana de Campos, 129 - Campinas - SP - CEP: 13076-617 - Brasil - Tel: (19) 3326-2784 - e-mail: franquini_paulo@yahoo.com.br

RESUMO

A necessidade de fornecimento de água, com padrões de qualidade cada vez mais restritivos, submete as empresas de abastecimento, a operarem as unidades de tratamento das estações, de maneira flexível, eficiente e, em especial, a minimizar as concentrações dos subprodutos da desinfecção (SPD). O objetivo desta pesquisa foi avaliar em escala de laboratório, a adsorção/remoção em carvão ativado em pó (CAP), das espécies de aldeídos (ALD) originados nas oxidações, em águas de abastecimento contendo ácidos húmicos (HHU), quando tratadas com cloro livre (OCI⁻) empregando-se a técnica de extração líquido-líquido e cromatografia gasosa com detector de captura de elétrons (LLE-GC-ECD). Os resultados das análises das amostras da água oxidada, indicaram que a mesma, alcançou remoções percentuais de acetaldeído, a espécie predominante, de 56% a 77%, por adsorção em CAP utilizando dosagens variáveis de 10 a 30 mg L⁻¹, após o tempo de contato de 60 min.

PALAVRAS-CHAVE: Aldeídos, ácidos húmicos, cloração, subprodutos da desinfecção, carvão ativado em pó, tratamento convencional, LLE-GC-ECD.

INTRODUÇÃO

As oxidações/desinfecções, em águas de abastecimento, resultam na formação de uma grande variedade de compostos, chamados de subprodutos da desinfecção (SPD). Estes, incluem, principalmente, os trihalometanos (THM), ácidos haloacéticos (HAA), haloacetônitrilas (HAN) e cloropirinas, e que, proporcionam efeitos adversos à saúde humana. Muitos deles têm sido regulados pela Agência Americana de Proteção Ambiental (USEPA) desde 1996, pela Organização Mundial de Saúde (WHO) desde 1995 e pela Comunidade Econômica Européia (CEE) em 1998.

As substâncias húmicas aquáticas, têm sido, por muito tempo, reconhecidas como a fração da matéria orgânica natural (MON) responsável pela produção de SPD, durante o processo de tratamento de água (ROOK, 1977; NORWOOD *et al.*, 1987).

Dentre as alternativas para a redução das concentrações de SPD remanescentes em águas de abastecimento, está a remoção dos SPD totais, que possam ser originados durante o processo de desinfecção (SINGER, 1994).

A utilização do carvão ativado granular (CAG) é considerado o método mais eficiente na remoção de THM e de outros SPD. Entretanto, ele apresenta desvantagens, tais como, a necessidade da construção de mais uma unidade física no tratamento físico-químico e, da regeneração do meio filtrante com frequência, a fim de garantir a eficiência da remoção. Neste contexto, os processos de adsorção em carvão ativado em pó (CAP) têm se sobressaído por considerarem a possibilidade de aproveitamento das unidades já existentes em uma ETA.



Desta forma, o presente estudo avaliou, em escala de laboratório, a adsorção/remoção em CAP sob tempos de contato de 60 e 120 min, das concentrações de ALD e suas espécies, originados a partir da oxidação de soluções contendo ácidos húmicos, quando tratadas com cloro livre (OCI^-), sob tempo de reação de 24 h. A determinação das concentrações remanescentes das espécies de ALD foram realizadas conforme metodologia analítica descrita por GLAZE *et al* (1989): extração líquido-líquido e cromatografia gasosa com detector de captura de elétrons (LLE-GC-ECD).

O valor limite para o formaldeído estabelecido nas duas últimas edições do Guia da WHO é de $0,9 \text{ mg L}^{-1}$ em água potável para abastecimento público.

Ressalva-se que, a literatura científica não reporta trabalhos relacionados a formação e remoção de ALD como SPD originado em oxidações de ácidos húmicos (HHU) com cloro livre (OCI^-).

MATERIAIS E MÉTODOS

Os trabalhos foram desenvolvidos em três diferentes etapas. As 1ª e 2ª etapas foram realizadas nas dependências do Laboratório de Saneamento (LABSAN) e do Laboratório de Protótipos Aplicados ao Tratamento de Águas e Efluentes (LABPRO) da FEC/UNICAMP, ao passo que, a 3ª etapa foi realizada no Laboratório de Processos Biológicos (LPB) da EESC/USP.

1ª Etapa: Estudos Iniciais utilizando ensaios de “Jar Test” para otimização dos parâmetros de tratamento.

Nesta fase foram avaliados, mediante ensaios de “Jar Test”, as dosagens de sulfato de alumínio e os respectivos valores de pH de coagulação, para que fornecessem os melhores resultados de remoções de cor aparente e turbidez, simultaneamente, e que atendessem a Portaria 518/2004, da água bruta contendo soluções de ácidos húmicos (HHU) e cloro livre (OCI^-). Durante este procedimento não foram efetuadas determinações de ALD, pois o objetivo foi verificar e definir os melhores parâmetros de coagulação, floculação e decantação da água bruta para cada dosagem aplicada de CAP.

Os ensaios de “Jar Test” foram conduzidos em um equipamento da Nova Ética Equipamentos Científicos S.A., modelo 218/LDB, contendo um sistema de agitação mecânica que permite a utilização de até seis reatores, simultaneamente, com ajustes de rotação na faixa de 0 a 500 rpm e conseqüentemente, gradientes de velocidade (G) variando na faixa de 0 a 800 s^{-1} . Os reatores utilizados nos ensaios eram de acrílico e possuíam, individualmente, volume útil de 2 litros e seção quadrada, em planta, medindo 11,5 cm de lado, altura total de 21 cm e parede com espessura de 5 mm. O agitador era constituído de um eixo vertical de 5 mm de diâmetro e rotor tipo turbina, confeccionado com paleta de aço inox, medindo 7,0 cm x 2,5 cm.

A água bruta utilizada nos ensaios, teve como procedência, o poço freático do Ginásio Multidisciplinar da UNICAMP, a qual, não apresentou variações na sua qualidade, quanto aos parâmetros analisados: condutividade, cor aparente, turbidez, pH e temperatura, alcalinidade, dureza, manganês total, ferro total, cloro residual e íons brometo, conforme metodologias analíticas descritas por AWWA (1998) e HACH (2001).

Desta forma, a água bruta contida em uma bombona de 50 L e contendo $5,00 \text{ mg L}^{-1}$ de solução de HHU, foi oxidada com OCI^- , na concentração de $10,00 \text{ mg L}^{-1}$, e após 24 horas, distribuída aos jarros do aparelho de “Jar Test” e, submetida aos ensaios iniciais visando obter os melhores resultados de remoções de cor aparente e turbidez.

As dosagens de CAP e de sulfato de alumínio avaliadas em diferentes valores de pH, foram baseadas nos trabalhos de MARMO (2005) e SANTOS (2005), que se apoiaram em estudos de purificação de água por adsorção em CAP para a remoção de THM realizado por BUDINOVA *et al.* (1998) e de remoção de ferro e manganês STAHL (1996). Desta forma, a tabela 1 apresenta as dosagens dos produtos químicos e os valores de pH empregados, nesta etapa.



Tabela 1 – Dosagens de produtos químicos e valores de pH iniciais avaliados de acordo com o número de ensaios para a primeira etapa.

Ensaio	Dosagens de CAP (mg L ⁻¹)	Dosagens de Sulfato de Alumínio (mg L ⁻¹)	Valores de pH iniciais a serem avaliados (Jarros de 1 a 6)					
			1	2	3	4	5	6
1	10	15	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
2		25	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
3		35	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
4		45	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
5	20	15	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
6		25	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
7		35	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
8		45	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
9	30	15	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
10		25	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
11		35	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
12		45	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
13	50	15	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
14		25	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
15		35	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
16		45	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
17	100	15	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5
18		25	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5
19		45	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
20		60	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5
21	150	15	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5
22		25	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5
23		45	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0
24		60	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5
25	50	25	9,0	10,0	–	–	–	–
	100	45	–	–	10,0	11,0	–	–
	150	45	–	–	–	–	10,0	11,0
26	50	45	9,0	9,5	10,0	–	–	–
	100	60	–	–	–	9,0	10,0	–
	150	60	–	–	–	–	–	9,0
27	10, 20, 30, 50, 100, 150 (J1 a J6)	–	–	–	–	–	–	–

Os parâmetros do tratamento de água, simulado nos jarros de “Jar Test” empregados, são apresentados na tabela 2.

**Tabela 2** – Parâmetros utilizados para os ensaios de “Jar Test”.

Etapas do tratamento de Água	Gradiente de Velocidade (s^{-1})	Tempo de Contato
Mistura Rápida	585	15 s
Floculação	80	10 min
	50	10 min
	20	10 min
Sedimentação ($V = 1 \text{ cm/min}$)	-	7 min

Os estudos utilizaram uma solução preparada com água bruta contendo $5,00 \text{ mg L}^{-1}$ de HHU e, oxidada com cloro livre (OCI^-) na concentração de $10,00 \text{ mg L}^{-1}$, a qual foi mantida sob tempo de reação de 24 horas. A escolha do tempo de oxidação de 24 h foi baseada em estudos de formação de ALD efetuados em outro estudo (I278), pertinente aos mesmos autores deste, e a ser publicado no 25º CBESA, e que considerou a formação de menores concentrações deste SPD, bem como, a semelhança de comportamento de tratabilidade em uma ETA, neste tempo de contato.

2ª Etapa: Ensaios de Adsorção/Remoção em CAP, seguido de tratamento convencional.

Os ensaios de adsorção/remoção efetiva das espécies de ALD e a avaliação da eficiência da adsorção em CAP e do tratamento por ciclo completo utilizando o $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ como coagulante, foram realizados, empregando-se os parâmetros:

- Oxidação: HHU ($5,00 \text{ mg L}^{-1}$) e OCI^- ($10,00 \text{ mg L}^{-1}$), oxidação sob tempo de 24 horas;
- Parâmetros do Tratamento Convencional: estabelecidos na 1ª etapa;
- Tempos de Detenção para o CAP: 60 e 120 min.

3ª Etapa: Determinações das concentrações de ALD originados na oxidação.

A técnica analítica utilizada para a detecção das concentrações dos aldeídos originados nas oxidações foi a extração líquido-líquido e cromatografia gasosa com detector de captura de elétrons (LLE-GC-ECD). A técnica proporcionou a separação e quantificação das espécies dos aldeídos originados: formaldeído (CH_2O), acetaldeído ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$), glioxal ($\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_2$), metilglioxal ($\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_2$). Soluções padrões e amostras foram preparadas conforme metodologia analítica descrita por GLAZE *et al* (1989): derivatização com PFBOA.HCl seguida da extração líquido-líquido com n-hexano contendo padrão interno de decafluorbifenil. Na quantificação dos compostos foi utilizado: um cromatógrafo a gás HP 5890 com detector de captura de elétrons ^{63}Ni , N_2 como gás de arraste e coluna capilar de sílica fundida modelo HP (30mx0,32mmx0,25 μm). A técnica de injeção foi a split/splitless, com a razão de 20. A temperatura do forno foi programável de 50°C até 220°C (2°), 5°C min^{-1} . A temperatura do injetor foi de 280°C e a temperatura do detector de 300°C . A pressão na cabeça da coluna foi de 5 psi. Os limites de detecção (LD) foram 2,50; 1,25; 1,25 e $1,23 \mu\text{g L}^{-1}$, para CH_2O , $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$, $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_2$ e $\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_2$, respectivamente. As determinações cromatográficas foram realizadas no Laboratório de Processos Biológicos (LPB) da EESC/USP.

A figura 1 apresenta um fluxograma esquemático do procedimento descrito para a análise de aldeídos por LLE-GC-FID das amostras oxidadas.

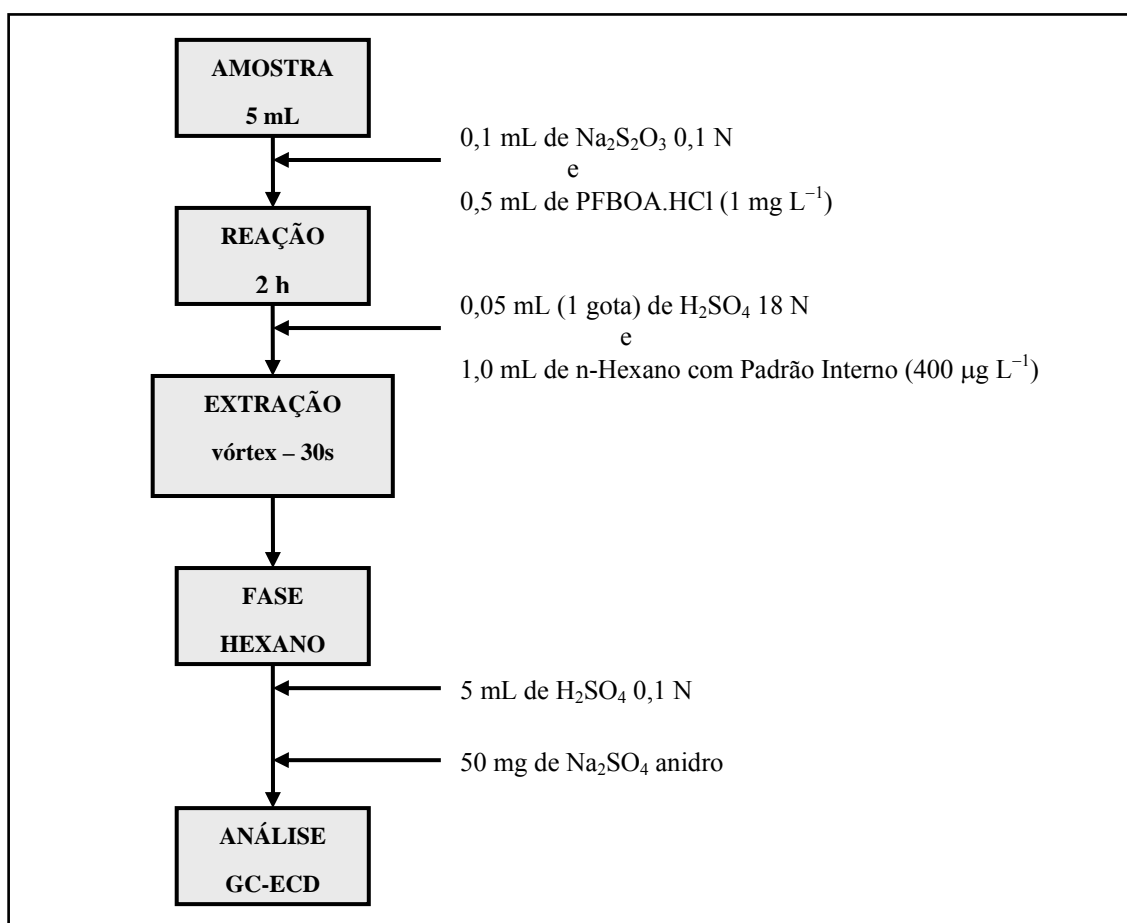


Figura 1 – Fluxograma esquemático do procedimento de análise de Aldeídos em amostras oxidadas.

RESULTADOS DA 1ª ETAPA

A tabela 3 apresenta as conclusões dos estudos iniciais utilizando ensaios de “Jar Test”, mediante os resultados obtidos de melhores remoções de cor aparente e turbidez, e que demonstraram ser as concentrações de coagulante e os valores de pH que abrangeram as condições de otimização para que os mesmos pudessem ser adotados na etapa de remoção dos ALD originados na oxidação de água bruta contendo HHU ($5,00 \text{ mg L}^{-1}$), submetidas ao OCl^- ($10,00 \text{ mg L}^{-1}$) sob 24 h.

Tabela 3 – Dosagens de sulfato de alumínio e valores de pH iniciais e de coagulação, em função das dosagens de CAP a serem adotados para a remoção de ALD.

Dosagem de CAP (mg L^{-1})	pH Inicial	pH Coagulação	Dosagem de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (mg L^{-1})	Cor Aparente Final (uC)	Turbidez Final (uT)
10	6,52	6,46	35	a.l.d.	0,13
20	6,02	6,19	35	a.l.d.	0,35
30	7,52	7,02	35	a.l.d.	0,35
50	7,01	6,43	45	a.l.d.	0,35
100	6,50	6,26	45	a.l.d.	0,35
150	7,03	6,36	60	1	0,54

a.l.d.: abaixo do limite de detecção.



RESULTADOS DAS 2ª E 3ª ETAPAS

Os valores de dosagens de CAP, pH inicialmente ajustados, bem como, as concentrações de sulfato de alumínio adotados e citados anteriormente na tabela 3, foram empregados na adsorção em CAP dos SPD originados.

A tabela 4 apresenta os resultados das remoções obtidas a partir das medidas de cor aparente e turbidez, efetuadas nas amostras após a adsorção em CAP, nos tempos de detenção de 60 min e de 120 min, para os ensaios em que foram variadas as concentrações de CAP, dosagens de sulfato de alumínio e pH.

Tabela 4 – Resultados das remoções de cor aparente e turbidez ocorridas com a adsorção de CAP

Tempo de Detenção	Jarro	Dosagem de CAP (mg L ⁻¹)	pH		Cor Aparente (uC)		Remoção de Cor (%)	Turbidez (uT)		Remoção de Turbidez (%)
			Ajustado	Coagulação	Inicial	Final		Inicial	Final	
60 min	1	10	6,50	6,42	152	a.l.d.	100,00	9,20	0,23	97,50
	2	20	6,03	6,13	278	2	99,28	13,70	0,20	98,54
	3	30	7,51	6,92	468	4	99,15	40,70	0,67	98,35
	4	50	6,98	6,52	820	5	99,39	28,70	0,16	99,44
	5	100	6,51	6,29	1240	2	99,84	73,40	0,25	99,66
	6	150	7,03	6,41	2150	8	99,63	139,00	0,31	99,78
120 min	1	10	6,49	6,37	215	a.l.d.	100,00	11,70	0,20	98,29
	2	20	6,00	6,18	237	1	99,58	14,60	0,20	98,63
	3	30	7,48	6,86	402	5	98,76	26,40	0,19	99,28
	4	50	7,02	6,42	860	8	99,07	40,70	0,48	98,82
	5	100	6,49	6,20	1670	4	99,76	98,91	0,26	99,74
	6	150	7,02	6,38	1980	a.l.d.	100,00	110,13	0,23	99,79

A análise dos dados da tabela 4 indica que todas as amostras filtradas apresentaram como resultados de cor aparente e turbidez, valores inferiores a 15 uC e 1 uT, respectivamente, valores estes, exigidos pela Portaria 518/2004.

A tabela 5 apresenta os resultados das concentrações remanescentes, determinadas por LLE-GC-ECD, das espécies de ALD (CH₂O, C₂H₄O, C₂H₂O₂ e C₃H₄O₂), originadas em amostras sob tempos de detenção de 60 e 120 min, após a adsorção com dosagens variáveis de CAP, bem como, da água bruta após a oxidação em 24 h utilizada nesses ensaios (BRANCO).



Tabela 5 – Resultados das concentrações remanescentes das espécies CH_2O , $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$, $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_2$ e $\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_2$, nas determinações de ALD, por LLE-GC-ECD, em amostras dos ensaios sob tempos de detenção de 60 e 120 min, com dosagens variáveis de CAP.

Ensaio	Jarro	Dosagem de CAP (mg L^{-1})	Concentrações Remanescentes de Espécies de ALD ($\mu\text{g L}^{-1}$)				
			CH_2O	$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$	$\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_2$	$\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_2$	TALD
BRANCO	—	—	a.l.d.	8,40	6,73	3,21	18,34
60 min	1	10	a.l.d.	3,57	2,62	1,95	8,14
	2	20	a.l.d.	2,80	1,86	a.l.d.	4,66
	3	30	a.l.d.	1,95	a.l.d.	a.l.d.	1,95
	4	50	a.l.d.	a.l.d.	a.l.d.	a.l.d.	a.l.d.
	5	100	a.l.d.	a.l.d.	a.l.d.	a.l.d.	a.l.d.
	6	150	a.l.d.	a.l.d.	a.l.d.	a.l.d.	a.l.d.
120 min	1	10	a.l.d.	a.l.d.	a.l.d.	a.l.d.	a.l.d.
	2	20	a.l.d.	a.l.d.	a.l.d.	a.l.d.	a.l.d.
	3	30	a.l.d.	a.l.d.	a.l.d.	a.l.d.	a.l.d.
	4	50	a.l.d.	a.l.d.	a.l.d.	a.l.d.	a.l.d.
	5	100	a.l.d.	a.l.d.	a.l.d.	a.l.d.	a.l.d.
	6	150	a.l.d.	a.l.d.	a.l.d.	a.l.d.	a.l.d.

a.l.d.: abaixo do limite de detecção.

A água bruta e a solução de HHU utilizadas nestes ensaios apresentaram concentrações das espécies de ALD abaixo do limite de detecção.

Os valores de concentrações remanescentes contidos na tabela 5, permitiram obter as concentrações removidas das espécies de ALD, em $\mu\text{g L}^{-1}$, em função das dosagens de CAP aplicadas, nos jarros de 1 a 6. A partir das concentrações removidas, foram realizados cálculos de remoções percentuais das espécies de ALD. Os resultados de remoções percentuais são apresentados na tabela 6.



Tabela 6 – Resultados das remoções percentuais das espécies CH_2O , $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$, $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_2$ e $\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_2$, nas determinações de ALD, por LLE-GC-ECD, dos ensaios sob tempos de detenção de 60 e 120 min, após a adsorção de CAP.

Amostra	Jarro	Dosagem de CAP (mg L^{-1})	Remoções de Espécies de TALD (%)				
			CH_2O	$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$	$\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_2$	$\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_2$	TALD
Ensaio 28 (60 min)	1	10	n.a.	57,50	61,07	39,25	55,62
	2	20	n.a.	66,67	72,36	n.a.	74,59
	3	30	n.a.	76,79	n.a.	n.a.	76,79
	4	50	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	5	100	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	6	150	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Ensaio 29 (120 min)	1	10	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	2	20	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	3	30	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	4	50	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	5	100	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	6	150	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

n.a.: não avaliado.

Os valores indicados como “não avaliados” são decorrentes da ausência de concentrações das espécies de ALD originados na oxidação ou após a adsorção em CAP e que, impossibilitam a realização do cálculo de remoção.

Os resultados das remoções de ALD indicados na tabela 6 denotam que, se comparados os tempos de detenção, as remoções das espécies de ALD originados na oxidação com cloro livre, são mais eficientes em 120 min que em 60 min. As concentrações de ALD não detectadas podem ser decorrentes do limite de detecção para estes compostos. De acordo com os resultados, a partir de dosagens de 30 mg L^{-1} de CAP, há a adsorção de praticamente todos os ALD originados.

Finalmente, é reconhecido que apenas a WHO (1995) estabelece um limite de $0,9 \text{ mg L}^{-1}$ para o formaldeído em água potável, indicando uma preocupação com a ingestão deste composto. Em decorrência das variações da qualidade da água bruta destinada ao tratamento físico-químico de potabilização e, provavelmente, do aumento da concentração de TALD em águas desinfetadas pela ação do cloro livre e que atinjam níveis em que os efeitos tóxicos possam comprometer a saúde humana, é aceitável emergir legislações, que limitem este SPD na água potável.

CONCLUSÕES

As remoções de cor e turbidez efetuadas em CAP na água bruta contendo HHU, são dependentes do pH, da dosagem de coagulante sulfato de alumínio e das dosagens do próprio CAP.

A técnica de LLE-GC-ECD demonstrou ter alta sensibilidade e eficiência nas detecções de ALD.

Os valores obtidos das concentrações das espécies de ALD remanescentes permitiram avaliar a eficiência da adsorção/remoção efetiva dos mesmos em CAP, em águas tratadas com cloro livre e sulfato de alumínio. A espécie acetaldeído ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$), predominante com aproximadamente 46% dos TALD iniciais (BRANCO), permaneceu com sua predominância após as remoções, mas teve sua concentração reduzida para aproximadamente 77%, sob tempo detenção de 60 min, e aplicação de dosagem de CAP de apenas 30 mg L^{-1} .



Nestas mesmas condições de dosagem e tempo de detenção, ocorreu a adsorção de praticamente todos os outros ALD originados nas oxidações.

De acordo com estes estudos realizados, recomendam-se os seguintes estudos:

- de formação de ALD em águas de abastecimento na presença simultânea de íons brometo e fluoreto, quando submetidas a diferentes oxidantes;
- comparativos de remoção de SPD utilizando-se CAP provenientes de matérias-primas diferentes;
- de formação e remoção, utilizando o cloreto férrico ou outros compostos na coagulação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AWWA (American Water Works Association); APHA; WEF. **Standard methods for the examination of water and waste water**. 20ª ed. Baltimore, Maryland, 1998.
2. BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 518, de 25 de Março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. *Diário Oficial da União* n.º 59, de 26 de março de 2004, DF, Brasília.
3. BUDINOVA, T.; PETROV, N.; MINKOVA, V.; RAZVIGOROVA, M. Purification of water by activated carbons from apricot stones, lignites and anthracite. **Water Research**, v. 32, n. 7, p. 2135-2139, 1998.
4. GLAZE, W. H.; KOGA, M.; CANCELLA, D. Ozonation Byproducts. 2. Improvement of an Aqueous-Phase Derivation Method for the Detection of Formaldehyde and Other Carbonyl Compounds formed by the Ozonation of Drinking Water. **Environ. Sci. Technol.**, v. 23, 838-847, 1989.
5. HACH. **Odyssey DR 2500 Spectrophotometer procedure manual**. Loveland, Colorado: Hach Company World Headquarters, 2001.
6. MARMO, C. R. Formação e Remoção de trihalometanos em águas de abastecimento tratadas, na pré-oxidação, com cloro livre. 2005. 253 f. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Civil, Área de Concentração de Saneamento e Ambiente). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.
7. NORWOOD, D. L.; CHRISTIAN, R. F.; HATCHER, P. G. Structural characterization of aquatic humic material. 2. Phenolic content and its relationship to chlorination mechanism in an isolated aquatic fulvic acid. **Environmental Science Technology**, v. 21 (8), 791-798, 1987.
8. ROOK, J. J. Formation of haloforms during chlorination of natural waters. **Water Treatment Technology**, v.23, p. 234-243, 1974.
9. SANTOS, B. V. A. P. Formação e Remoção de THM em ETA utilizando Permanganato de Potássio na Pré-Oxidação. 2005. 202 f. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Civil, Área de Concentração de Saneamento e Ambiente). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.
10. SINGER, P. C. Humic substances as precursors for potentially harmful disinfection byproducts. **Water Science & Technology**, v. 40, n. 9, p. 25-30, 1999.
11. STAHL, N. S. P. Influência do uso do Carvão Ativado em Pó no Pré-Tratamento de Águas de Abastecimento. 1996. 236 f. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Civil, Área de Concentração de Saneamento e Ambiente). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1996.
12. USEPA - U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Guidance manual alternative disinfection and oxidants**. Washington, DC. 1999, 346 p.
13. WHO - World Health Organization. *Guidelines for Drinking-water Quality* [electronic resource]: incorporating first addendum. Vol. 1, Recommendations – 3rs ed. 1995. Disponível online em <http://www.who.int/water_sanitation_health/dwg/guidelines/en/>. Acesso em: 18 ago. 2006.

AGRADECIMENTOS

À Escola de Engenharia de São Carlos, em particular ao Laboratório de Processos Biológicos do Departamento de Hidráulica e Saneamento (LPB);



À FAPESP, pela concessão do financiamento de auxílio à pesquisa (Processo Nº 2006/04895-9: ESTUDOS DE FORMACAO E REMOCAO DE SPD EM AGUAS CONTENDO ÁCIDOS HÚMICOS QUANDO SUBMETIDAS A DIÓXIDO DE CLORO E CLORO LIVRE) e,

Ao CEETPS, pela concessão da bolsa de estudos.