



REMOÇÃO DE COMPOSTOS ORGÂNICOS DA ÁGUA DE ABASTECIMENTO POR ADSORÇÃO E FLOTAÇÃO. ESTUDO DE CASO: RIO JUNDIAÍ-SP

Palavras-Chave: tratamento de água, compostos orgânicos, coagulação química

Autores(as):

Jéssica Oliveira Rocha, FECFAU, UNICAMP

Larissa Silva Araújo (doutoranda em Engenharia Civil), FECFAU, UNICAMP

Kely Carolina Soares (mestranda em Engenharia Civil), FECFAU, UNICAMP

Prof. Dr. Ricardo de Lima Isaac (orientador) FECFAU, UNICAMP

INTRODUÇÃO:

A presença de compostos orgânicos dissolvidos em águas superficiais representa um desafio no tratamento de água devido aos efeitos negativos nos processos de tratamento e ao potencial de formação de subprodutos da desinfecção com potencial carcinogênico (UYAK et al. 2007; HILLEBRAND e BENETTI, 2019). O tratamento convencional de água envolve etapas como coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção (CRITTENDEN et al., 2012), mas a remoção de compostos orgânicos dissolvidos é difícil nesse processo. O carvão ativado em pó (CAP) tem sido utilizado como adsorvente para esses compostos, devido à sua capacidade de remoção e baixo custo (BONVIN et al., 2016). A combinação de CAP com otimização da coagulação pode ter um impacto significativo na remoção de compostos orgânicos dissolvidos.

A aplicação de CAP em conjunto com a otimização da coagulação pode remover efetivamente o carbono orgânico dissolvido da água, abrangendo tanto compostos de maior peso molecular removidos pelo coagulante quanto compostos de menor peso molecular que causam gosto e odor, removidos pelo CAP (UYAK et al., 2007).

No contexto específico do rio Jundiaí, que enfrenta problemas relacionados à qualidade da água devido ao uso intensivo do solo, alta densidade populacional e atividade industrial, a redução dos compostos orgânicos dissolvidos torna-se uma prioridade devido ao potencial de formação de compostos tóxicos. Nesse sentido, a combinação de CAP, coagulação otimizada e flotação surge como uma técnica viável que merece investigação para promover a segurança da água na região. O objetivo deste projeto de pesquisa era avaliar a eficácia da combinação de CAP e flotação por ar dissolvido na remoção de matéria orgânica dissolvida do rio Jundiaí, especialmente no trecho localizado em Salto-SP, com foco em aspectos físico-químicos. No entanto, em função da inviabilidade de utilizar o Flo-Test, foram realizados ensaios combinando a oxidação e o uso do CAP no equipamento de Jar Test.

METODOLOGIA:

Alíquotas de água do rio Jundiaí foram coletadas em ponto de amostragem, localizado no município de Salto-SP, em volume suficiente para a realização de ensaios de Jar Test e caracterização da água bruta. As análises foram efetuadas em três situações: água bruta recém coletada do rio, e água antes e depois dos ensaios. A água bruta foi caracterizada com base nas análises indicadas na Tabela 1. Na Tabela 1 constam os parâmetros físico-químicos analisados.

Tabela 1 Parâmetros físico-químicos e MOD a serem analisados

Físico-químicos	Indicadores MOD
Turbidez (UT)	Cor verdadeira (UC)
Cor aparente (UC)	Carbono orgânico dissolvido (mg/L)
Alcalinidade (mg/L)	UV ₂₅₄ (cm ⁻¹)
pH	SUVA ₂₅₄ (L/mg.cm)

Fonte: Autores (2022)

Os ensaios de tratabilidade foram realizados em equipamento Jar Test, que possui 6 jarros de acrílico, com a capacidade de 2 L cada. Os jarros foram preenchidos com a água de estudo, e submetidos aos ensaios, variando as concentrações de cloreto de polialumínio (PAC) e o pH entre 5 a 9. Como a otimização da coagulação faz parte do objeto de estudo, as condições de tempo de mistura, gradiente de velocidade e adsorção foram definidas ao longo do trabalho, em função das características da água bruta e de seu comportamento nos ensaios, Tabela 2. Vale ressaltar que as rotações de 40 e 400 rpm foram corrigidas com gradiente de velocidade de acordo com a temperatura da amostra no início do ensaio utilizando os fatores de correção da literatura (BERNARDO, 2011).

Tabela 2 Programação do Jar Test, com adsorção.

Sequência	Rotação(s⁻²)	Tempo	Ação
1	0-40	5 s	Rampa
2	40	30 min	Oxidação
3	40-100	5 s	Rampa
4	100	30 min	Adsorção
5	100	30 s	Acidificação/Alcalinização
6	100-400	30 s	Rampa
7	400	10 s	Coagulação
8	400-40	10 s	Rampa
9	40	20 min	Floculação
10	40-0	15 s	Rampa
11	0	10 min	Decantação

Fonte: Autores (2023)

Após a determinação da dosagem ótima do coagulante, o carvão ativado mineral em pó foi aplicado em diferentes concentrações, escolhidas com base no ensaio de adsorção, de forma a se construir um diagrama de coagulação e avaliar a remoção de matéria orgânica natural, utilizando como indicadores os parâmetros descritos na Tabela 1.

Diante dos resultados encontrados, de coagulação e adsorção, utilizou-se a melhor concentração de CAP na realização de ensaios combinando com a oxidação utilizando hipoclorito de sódio e PAC18. De início foi feita a caracterização da água de cada coleta para os seguintes parâmetros: pH, temperatura, turbidez, alumínio, ferro, manganês, sulfato, alcalinidade e nitrogênio amoniacal. Em seguida realizava-se a demanda de cloro; depois, em uma amostra reduzida de 200 mL, realizava-se

um ajuste de pH, após aplicação do PAC, utilizando ácido sulfúrico (0,0978 N) ou hidróxido de cálcio (comercial – 60 mg/mL).

As análises dos parâmetros e preservação:

- pH, temperatura, cloro residual livre e total, turbidez, cor aparente, nitrogênio amoniacal: análise imediata após a finalização do ensaio;
- cor verdadeira e absorvância UV254: análise após filtração com membrana de 0,45 µm;
- ferro dissolvido, manganês: amostra mantida em refrigeração até análise;
- Coliformes totais (quanti) e E.coli (quanti): coleta de 100 mL de amostra em frasco estéril com pastilha de tiosulfato de sódio mantido refrigerado para análise em até 24 horas.

A partir da análise dos dados, espera-se que seja possível discutir sobre a necessidade do emprego de carvão ativado em pó na água do rio Jundiá, bem como sua remoção e de sólidos em suspensão, medidos como turbidez, da água do manancial considerado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Foram avaliadas diferentes concentrações de PAC 12 e PAC 18 (60, 80, 100, 120, 140, 160) mg/L. O PAC 18 apresentou desempenho melhor que o PAC 12 e a Tabela 2 apresenta os melhores resultados para turbidez e pH mais próximos de 7,0 e a Tabela 3 para cor, do PAC 18.

Tabela 3 Resultados obtidos para o PAC 18.

Jarro	Turbidez/cor inicial	PAC18 (mg/L)	pH final	Turbidez final (uT)	Eficiência (%)	Cor final (uC)	Eficiência (%)
1		60	7,55	3,27	85,2	46,5	52,6
2		60	7,57	3,09	86,0	45,1	54,0
3	22,1 uT 98,1 uC	80	7,42	3,17	85,7	39,6	59,6
4		80	7,42	2,50	88,7	38,3	61,0
5		100	7,32	3,26	85,3	35,0	64,3
6		100	7,30	3,15	85,7	35,5	63,8

Avaliou-se também diversas concentrações de CAP mineral e CAP vegetal. Não se observou mudanças significativas na cor verdadeira, no entanto, apresentou mudanças significativas na turbidez residual e um leve aumento na remoção de absorvância a 254nm. O gráfico da Figura 1 mostra a comparação entre a aplicação de CAP vegetal e mineral, com tempo de contato adicional de 1 hora, antes da aplicação de 80 mg/L de PAC 18.

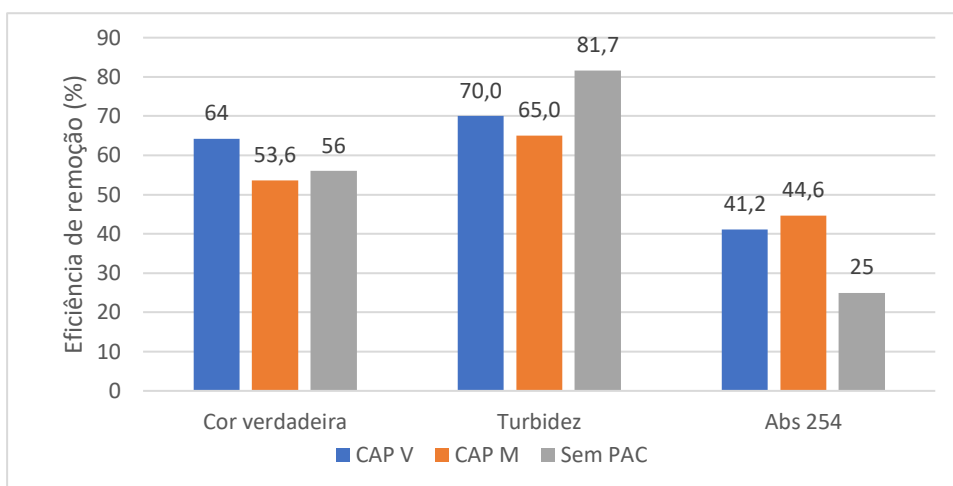


Figura 1 Eficiência de remoção com tempo adicional de contato de 1 hora

Na última etapa de ensaios utilizou-se o PAC 18 como coagulante e as melhores concentrações de CAP vegetal e mineral, combinando com a pré-oxidação utilizando hipoclorito de sódio. Os ensaios foram realizados em triplicata. A Tabela 4 apresenta os resultados para turbidez, cor verdadeira, cor aparente e absorvância UV254.

Tabela 4 Resultados dos ensaios combinando diferentes condições de oxidação, coagulação e adsorção

Condição	Turbidez (NTU)	Cor verdadeira (uH)	Cor aparente (uH)	Absorbância UV254
Bruta	9,32	20,2	-	0,236
NaClO(61mgCl₂/L); CAP Vegetal(20mg/L); PAC18(60mg/L)	Jarro 1	2,5	6	0,105
	Jarro 2	2,7	5	0,114
	Jarro 3	2,6	8	0,113
NaClO(61mgCl₂/L); CAP Mineral(40mg/L); PAC18(60mg/L)	Jarro 4	2,1	4	0,087
	Jarro 5	2,3	5	0,082
	Jarro 6	2,7	2	0,075
Bruta	9,32	20,2	-	0,236
NaClO(61mgCl₂/L); PAC18(60mg/L)	Jarro 1	2,1	5	0,136
	Jarro 2	2,5	6	0,133
	Jarro 3	2,8	6	0,126
NaClO(61mgCl₂/L); PAC18(60mg/L)	Jarro 4	3,0	3	0,135
	Jarro 5	3,2	7	0,132
	Jarro 6	3,3	3	0,133
Bruta	9,32	20,2	-	0,236
NaClO(61mgCl₂/L); PAC18(60mg/L)	Jarro 1	3,0	5	0,132
	Jarro 2	3,4	3	0,148
	Jarro 3	3,8	5	0,148
NaClO(61mgCl₂/L); PAC18(60mg/L)	Jarro 4	4,3	3	0,146
	Jarro 5	4,0	0	0,143
	Jarro 6	5,2	5	0,133
Bruta	13,8	22,8	44	-
NaClO(70mgCl₂/L); PAC18(60mg/L)	Jarro 1	2,8	1	0,149
	Jarro 2	3,0	2	0,159
	Jarro 3	4,2	9	0,160
NaClO(70mgCl₂/L); PAC18(70mg/L)	Jarro 4	3,8	3	0,152
	Jarro 5	5,1	1	0,159
	Jarro 6	3,9	1	0,159
Bruta	13,8	22,8	44	-
NaClO(70mgCl₂/L); PAC18(50mg/L)	Jarro 1	3,4	1	0,126

	Jarro 2	4,1	2	22	0,154
	Jarro 3	3,5	1	18	0,163
	Jarro 4	2,9	1	18	0,130
NaClO(70mgCl₂/L); PAC18(80mg/L)	Jarro 5	5,9	2	27	0,154
	Jarro 6	5,1	2	24	0,142
Bruta		13,8	22,8	65	-
	Jarro 1	1,6	3	17	0,123
CAP Vegetal(20mg/L); PAC18(60mg/L)	Jarro 2	2,0	5	12	0,113
	Jarro 3	2,4	2	17	0,112
	Jarro 4	1,9	2	14	0,085
CAP Mineral(40mg/L); PAC18(60mg/L)	Jarro 5	1,7	2	13	0,092
	Jarro 6	1,9	6	17	0,091
Bruta		13,8	22,8	43	-
	Jarro 1	1,9	0	13	0,143
NaClO(41mgCl₂/L); PAC18(70mg/L)	Jarro 2	2,5	1	19	0,164
	Jarro 3	2,4	8	14	0,107
	Jarro 4	2,6	1	23	0,175
NaClO(41mgCl₂/L); PAC18(60mg/L)	Jarro 5	2,9	1	19	0,166
	Jarro 6	2,6	1	18	0,165
Bruta		7,6	4	42	0,114
	Jarro 1	4,1	0	26	0,095
CAP Vegetal(20mg/L); PAC18(80mg/L)	Jarro 2	4,0	6	18	0,089
	Jarro 3	4,6	0	23	0,107
	Jarro 4	3,9	1	31	0,080
CAP Mineral(40mg/L); PAC18(80mg/L)	Jarro 5	4,0	0	27	0,076
	Jarro 6	3,6	0	32	0,086

Fonte: Relatório Técnico Convênio SAAE - Novembro (2022)

De maneira geral, observa-se que o CAP vegetal e CAP mineral apresentaram desempenhos muito próximos. Já a condição de máxima eficiência sem CAP, foi obtida com PAC18 (60mg/L) + NaClO (41mgCl₂/L), atingindo o melhor resultado para cor verdadeira e resultados próximos de turbidez e absorvância dos ensaios com CAP vegetal e mineral + PAC18 (60mg/L) + NaClO (70mgCl₂/L). Comparando-se com os resultados de turbidez e cor verdadeira da Figura 1, a turbidez e a cor verdadeira apresentaram um melhor desempenho na combinação com oxidação.

CONCLUSÕES:

Os resultados mostraram-se diferentes entre as diferentes coletas de água ao longo dos meses. Porém, observa-se que o PAC 18 apresenta melhores resultados como coagulante em relação ao PAC 12. Já a adição de CAP vegetal promoveu as melhores reduções de cor aparente e turbidez, enquanto que o CAP mineral se mostrou mais eficiente na remoção de compostos dissolvidos. Quando combinado com oxidação utilizando cloro não houve muita diferença entre os ensaios com CAP vegetal ou mineral. Os melhores resultados foram obtidos com o PAC18 na concentração de 60mg/L.

BIBLIOGRAFIA

- BERNARDO, Luiz Di; DANTAS, Angela Di Bernardo; VOLTAN, Paulo Eduardo Nogueira. **Tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água**. LDiBe, 2011
- BONVIN, F. *et al.* **Superfine powdered activated carbon (SPAC) for efficient removal of micropollutants from wastewater treatment plant effluent**. Water Research, 90, p.90-99, 2016.
- CRITTENDEN, John C. *et al.* **MWH's Water Treatment: principles and design**. 3. ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc., 2012.
- UYAK, Vedat; YAVUZ, Sema; TOROZ, Ismail; OZAYDIN, Sahin; GENCELLI, Esra Ates. **Disinfection by-products precursors removal by enhanced coagulation and PAC adsorption**. Desalination, 2016, p.334-344, 2007.