



USO DO COAGULANTE NATURAL *Moringa oleifera* Lam NO PROCESSO COMBINADO DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO/ADSORÇÃO PARA MINIMIZAÇÃO DA FORMAÇÃO DE TRIHALOMETANOS

Tássia Rhuna Tonial dos Santos

Marcelo Fernandes Vieira

Rosângela Bergamasco

RESUMO: O projeto de Estações de Tratamento de Água (ETAs) visam a remoção de turbidez, cor aparente, bem como a produção de uma água segura do ponto de vista microbiológico e químico. A desinfecção é a etapa responsável pela segurança do ponto de vista microbiológico onde o cloro é o agente mais usado, podendo esse reagir com a matéria orgânica natural (MON) presente na água bruta formando os trihalometanos (THM), que são prejudiciais à saúde humana. Assim, este estudo propõe avaliar a eficiência do processo de coagulação/floculação utilizando o coagulante natural *Moringa oleifera* Lam (Mo), seguido por um processo de adsorção utilizando uma coluna com o adsorvente carvão ativado de coco de dendê. Para os ensaios realizados em *Jar Test*, foi utilizada água proveniente da bacia do rio Pirapó, Maringá, PR, com dosagens de 50 mg.L⁻¹ de Mo, seguido por uma coluna de adsorção contendo 150 g de carvão ativado de coco de dendê e pós-cloração. Após esses processos, amostras foram coletadas para avaliar a eficiência de remoção de cor aparente, turbidez, compostos com absorção em UV_{254nm}, COD, cloro livre, e verificar a formação de THM. Foi possível constatar que o tratamento de coagulação/floculação utilizando o coagulante natural Mo seguido por adsorção em carvão ativado e pós-cloração reduziu significativamente os parâmetros cor aparente, turbidez, compostos com absorção em UV_{254nm}, COD e THMT atendendo os limites da Portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde.



Assim, a Mo pode se apresentar como um coagulante alternativo eficiente para o tratamento de água de abastecimento.

Palavras chaves: Coagulação/floculação. Adsorção em carvão. Trihalometanos.

1 INTRODUÇÃO

O acesso do homem às águas com qualidade e quantidade para suprir suas necessidades têm exigido tratamentos cada vez mais criteriosos em decorrência da presença de contaminantes, principalmente provenientes dos efluentes industriais, compostos químicos de usos agrícolas e efluentes domésticos não tratados lançados em corpos d'água ou no solo. Técnicas recentes implicam na aplicação de substâncias químicas no tratamento de água que minimizem a formação de compostos nocivos ao ser humano (CESCO, 2007).

Sabe-se que os coagulantes mais empregados nas ETAs são os inorgânicos, principalmente sais trivalentes de ferro e alumínio. Recentemente, a utilização desses coagulantes químicos têm sido alvo de discussão, em função de haver evidências de que o Mal de Alzheimer pode estar associado ao alumínio residual presente na água destinada ao consumo humano. Além disto, o alumínio não é biodegradável, podendo ocasionar problemas de disposição e tratamento do lodo gerado (BUDD et al., 2004; KONRADT-MORAES, 2004).

Sendo assim, em vários países, inúmeras plantas e seus derivados estão sendo utilizadas como coagulantes/floculantes naturais, como é o caso da *Moringa oleifera* Lam (Mo).

Atualmente, existe um grande desenvolvimento nos processos de adsorção, que envolvem a transferência de massa de uma fase fluida para a superfície de um sólido, podendo ser aplicado com grande eficiência e economia no tratamento de água. O carvão ativado é um dos adsorventes mais utilizados no tratamento de água potável para abastecimento público e residuária bem como na indústria química (AKTAS e ÇEÇEN,



2007). As substâncias mais comumente removidas são as que causam sabor, odor, toxicidade e mutagenicidade (BITTON, 2005).

O agente químico mais comum utilizado pelas Estações de Tratamento de Água (ETAs) no processo de desinfecção de águas de abastecimento e residuárias é o cloro. Apesar dos benefícios oriundos da desinfecção, a utilização de cloro e outros compostos têm merecido atenção da comunidade científica, devido suas reações com a matéria orgânica natural (MON) proveniente dos mananciais superficiais, as quais podem formar subprodutos de desinfecção indesejáveis a saúde humana, como os trihalometanos (THM), ácidos haloacéticos (HAA) e haloacetoneitrilas (HAN), entre outros (NIKOLAOU et al., 2002; ZHAO et al., 2004; HONG, 2007).

Devido a alta toxicidade desses compostos e por possuírem alto potencial carcinogênico e mutagênico, no ano de 1984, os Estados Unidos da América (EUA) estabeleceram o valor máximo permitido para trihalometanos totais (THMT) em água de abastecimento público em $100 \mu\text{g.L}^{-1}$, porém, atualmente esse valor foi reduzido para $80 \mu\text{g.L}^{-1}$ (USEPA, 1999; LEE et al., 2004; GOPAL et al., 2007).

Em função da literatura científica a respeito destes subprodutos da desinfecção, torna-se extremamente importante o desenvolvimento de estudos visando identificar, qualificar e quantificar subprodutos resultantes da oxidação de substâncias húmicas, especialmente quando se usa o cloro, visto que este é utilizado prioritariamente nas ETAs como oxidante/desinfetante. Seu uso na pré, inter e pós cloração indica que, sob determinadas condições, o potencial para formação de subprodutos da desinfecção é preocupante, estando constantemente acima dos limites estabelecidos pelas normas internacionais (MARMO, 2005).

Assim, o objetivo do presente estudo foi avaliar a eficiência do processo combinado coagulação/floculação, adsorção em carvão vegetal (C/F/Ad) e pós-cloração, utilizando o coagulante natural Mo para verificar a remoção da MON, bem como a minimização da formação de THM.



2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios de coagulação/floculação foram realizados no Laboratório de Gestão, Controle e Preservação Ambiental, do Departamento de Engenharia Química, da Universidade Estadual de Maringá, utilizando a água bruta proveniente da bacia do rio Pirapó, Maringá, PR, Brasil, coletada na Estação de Tratamento de Água (ETA) da cidade (SANEPAR).

Essa água foi submetida ao processo de coagulação/floculação, com o coagulante natural de Mo, provenientes da Universidade Federal de Sergipe (UFS).

As sementes de Mo previamente removidas manualmente da vagem, descascadas e secas, foram trituradas em liquidificador doméstico até obter um pó fino. Posteriormente, esse pó foi misturado a 100 mL da solução salina (NaCl 1M) em agitador magnético por 30 minutos e a solução foi filtrada à vácuo, com a utilização de membranas de 0,45 μm de porosidade (KALIBBALA et al., 2009).

Os ensaios foram realizados em *Jar Test*, com dosagens de coagulante de 50 mg.L^{-1} e em condições de operação otimizadas por Madrona et al. (2010), conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Condições de operação no *Jar Test*

Condições de operação	
Gradiente de mistura rápida (GMR) (s^{-1})	690
Tempo de mistura rápida (TMR) (min)	3,0
Gradiente de mistura lenta (GML) (s^{-1})	23
Tempo de mistura lenta (TML) (min)	15
Tempo de sedimentação (TS) (min)	60

Fonte: (MADRONA et al., 2010)

Posteriormente, a água clarificada passou por um processo de adsorção, utilizando uma coluna com o adsorvente carvão ativado de coco de dendê. Por fim, foi realizado o processo de desinfecção (pós-cloração) com cloro na dosagem de 1,5 mg/L , que é a utilizada pela SANEPAR. Foi avaliada a formação de THM nessa água.



As análises de THMT foram realizadas por meio de cromatografia gasosa em coluna capilar (CG), com sistema de separação por *purge and trap*, e detecção e quantificação por espectrometria de massa (EM), de acordo com o Método 6200-B, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1995).

Em todas as etapas foram analisados os seguintes parâmetros: cor aparente (espectrofotômetro DR 2010 Hach), turbidez (turbidímetro 2100P Hach), compostos com absorção em UV_{254nm} (UV_{254nm}) (espectrofotômetro DR 2010 Hach), carbono orgânico dissolvido (COD) (analisador de carbono orgânico total TOC-LCPH Shimadzu), THMT e cloro livre residual (somente na etapa de desinfecção).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A caracterização da água bruta utilizada no presente estudo está apresentada na Tabela 2.

Tabela 2: Caracterização da água bruta

Parâmetros	Valores
Cor aparente (uH) ⁽¹⁾	153
Turbidez (NTU)	49
UV _{254nm}	0,221
COD (mg/L)	4,455
THMT (µg/L)	4,45

(1) unidade Hazen = (mg Pt-Co.L⁻¹)

Na Tabela 3 são apresentados os resultados dos parâmetros cor aparente, turbidez e UV_{254nm} analisados quando utilizado o coagulante natural Mo no processo combinado coagulação/floculação e adsorção em carvão vegetal (C/F/Ad).

Tabela 3: Análise dos parâmetros de qualidade no processo combinado C/F/Ad

Processo	Cor aparente	Turbidez	UV _{254nm}
C/F/Ad - Mo	0 uH ⁽¹⁾	0,3 NTU	0,0038 cm ⁻¹

(1) unidade Hazen = (mg Pt-Co.L⁻¹)



Observando os resultados obtidos, em relação ao parâmetro cor aparente, verificou-se que a utilização do coagulante Mo no processo combinado C/F/Ad, teve 100% de eficiência de remoção. Para turbidez, a remoção foi eficiente, sendo o residual obtido de 0,3 NTU. Ambos os parâmetros atenderam valor recomendado pela Portaria nº. 2914 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011), ou seja, <15uH e <0,5 NTU para cor aparente e turbidez, respectivamente.

Em relação ao parâmetro UV_{254nm} , o processo apresentou uma eficiência de remoção de 98,3%.

Na Figura 1 estão apresentados os resultados de COD para água bruta (AB), água após o processo de C/F e para água após o processo de adsorção em carvão.

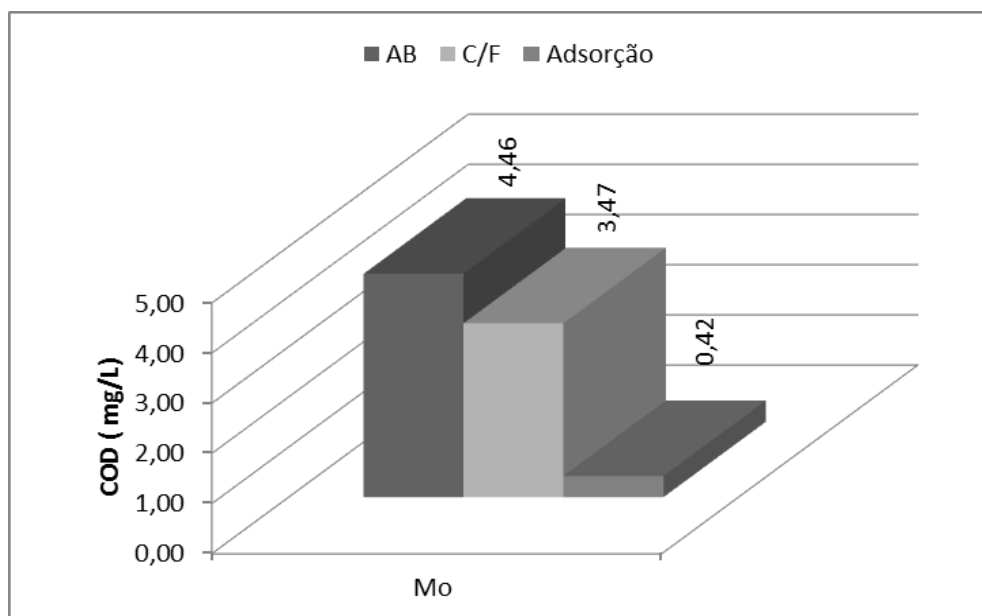


Figura 1: Análise do parâmetro COD em água bruta (AB), água após o processo de coagulação/floculação (C/F) e após o processo de adsorção em carvão

Em relação aos resultados obtidos para o parâmetro COD, observou-se que o processo de coagulação/floculação apresentou eficiência de remoção de 22,2%. Com o processo de adsorção em carvão, essa eficiência aumenta para 90,6%, indicando que é



interessante utilizar um tratamento complementar, a fim de melhorar o residual obtido de COD no tratamento de água bruta.

Na Figura 2 são apresentados os resultados de cloro residual livre em diferentes tempos de retenção para água tratada pelo processo combinado C/F com Mo, seguido de adsorção em carvão e desinfecção por cloração.

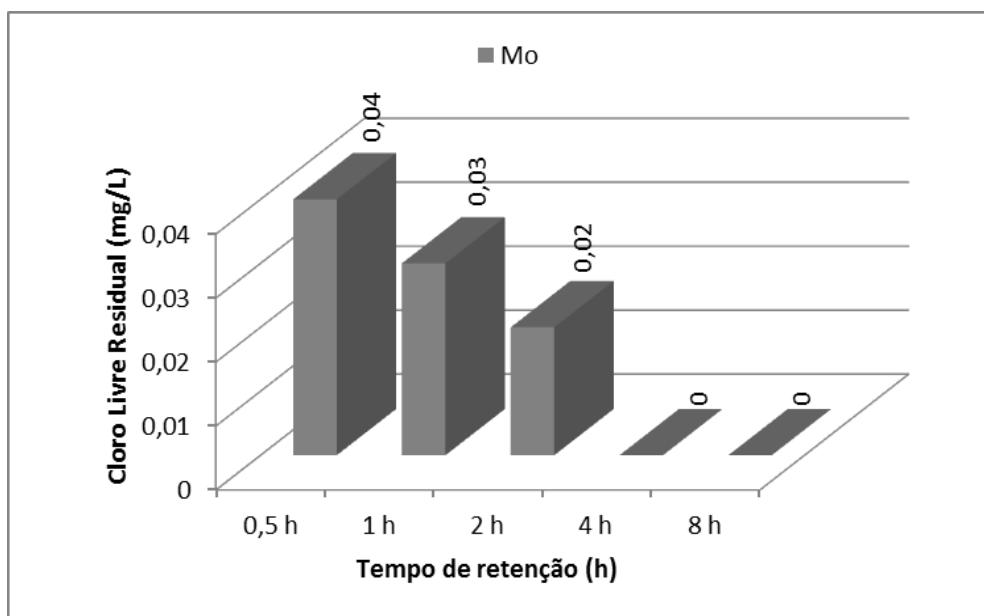


Figura 2: Análise do parâmetro cloro residual livre após a pós-cloração da água tratada em diferentes tempos de retenção.

De acordo com a legislação vigente (BRASIL, 2011), é obrigatória a manutenção de, no mínimo, 0,2 mg/L de cloro residual livre; ou 2 mg/L de cloro residual combinado; ou de 0,2 mg/L de dióxido de cloro em toda a extensão do sistema de distribuição (reservatório e rede).

Através da Figura 2, observou-se que os valores obtidos não se mantiveram dentro dos parâmetros mínimos de 0,2 mg/L. Isso possivelmente está relacionado com a quantidade de matéria orgânica presente nas sementes de Mo, a qual reage com o cloro e há maior oxidação da MON, podendo essa ser melhorada com a extração do óleo da semente antes do processo.



Na Figura 3 são apresentadas as concentrações de THMT na água bruta (AB), após o processo de coagulação/floculação e adsorção em carvão (C/F/Ad) e após a pós-cloração em diferentes tempos de retenção.

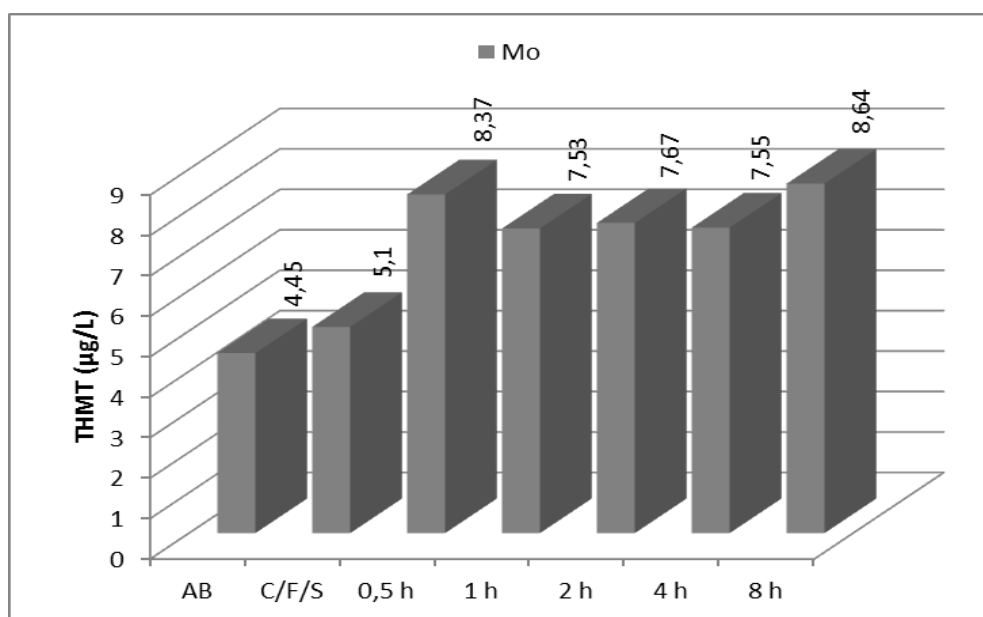


Figura 3: Análise do parâmetro THMT

Com base nos dados da figura 3 constatou-se que a água tratada, após a realização dos processos combinados utilizando de C/F seguido de adsorção em carvão, apresentou a partir de 30 minutos uma concentração constante de THMT (valores entre 7 mg/L e 8 mg/L). Isso pode ser explicado, considerando que na água após ser tratada com as sementes de Mo, ainda pode haver uma certa quantidade de MON, que tende a reagir com o cloro, consumindo-o nos primeiros tempos de retenção como pode ser observado na Figura 2, formando assim os THM a concentração constante desses durante o intervalo de tempo determinado, isso ocorre porque não há mais cloro livre para a formação de subprodutos.

No entanto, deve-se considerar que mesmo após o processo de desinfecção, em um tempo de contato de 8 horas, o coagulante natural Mo utilizado apresentou formação de THMT com concentrações dentro dos limites recomendados pela Portaria nº. 2914 do



Ministério da Saúde (BRASIL, 2011) (100 µg/L) e também dentro de legislações internacionais mais rígidas como a da Itália (30 µg/L).

4. CONCLUSÕES

Verificou-se que apenas o processo de coagulação/floculação não foi suficiente para atender os limites exigidos pela Portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde, necessitando de técnicas complementares como a implementação da unidade de adsorção de carvão ativado.

Pode-se concluir que o processo de coagulação/floculação utilizando os coagulantes Mo com posterior adsorção em carvão vegetal reduziu os valores dos parâmetros cor aparente, turbidez, compostos com absorção em UV_{254nm}, COD e THMT atendendo aos limites da legislação brasileira.

Assim, a Mo pode se apresentar como um coagulante alternativo eficiente para tratamento de água de abastecimento.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq e a FINEP pelo apoio financeiro; à Universidade Federal de Sergipe (UFS), pela doação das sementes de Mo; e a SANEPAR, pelas amostras de água bruta fornecidas.

REFERÊNCIAS

AKTAS, O; ÇEÇEN, F. Bioregeneration of activated carbon: A review. **International Biodeterioration & Biodegradation**.v.59. p. 257–272, 2007.

APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, **Standard Methods for the Examination for Water and Wastewater**. 19th ed., Washington, 1995.

BITTON, G. **Wastewater microbiology**. 3ed Copyright: New Jersey, 2005.



BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº. 2914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial**, Brasília, DF, 14 dez. 2011. Seção 1, p. 39.

BUDD, G. C.; HESS, A. F. ; SHORNEY-DARBY, H.; NEEMANN, J. J.; SPENCER, C. M.; BELLAMY, J. D.; HARGETTE, P. H. Coagulation applications for new treatment goals, **Journal of American Water Works Association**, v. 96, n.2, pp. 102-113, 2004.

CESCO, D. D. **Avaliação em escala real da formação de THMs em águas de abastecimento**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil (UNESP), Ilha Solteira, SP, 2007.

GOPAL, K.; TRIPATHY, S. S.; BERSILLON, J.; DUBEY, S. P. Chlorination byproducts, their toxicodynamics and removal from drinking water **Journal of Hazardous Materials**, v. 140, pp. 1-6, 2007.

HONG, H. C.; LIANG, Y.; HAN, B. P.; MAZUMDER, A.; WONG, M. H. Modeling of trihalomethane (THM) formation via chlorination of the water from Dongjiang River (source water for Hong Kong's drinking water), **Science of the Total Environment**, v. 385, pp. 48-54, 2007.

KALIBBALA, H. M.; WAHLBERG, O.; HAWUMBA, T. J. The impact of *Moringa oleifera* as a coagulant aid on the removal of trihalomethane (THM) precursors and iron from drinking water, **Water Science and Technology**, v.9, n.6, pp. 707-714, 2009.

KONRADT-MORAES, L. C, **Estudo da coagulação-ultrafiltração para produção de água potável**. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Química/UEM, Maringá, PR, Brasil, 2004.

LEE, S. C.; GUO, H.; LAM, S. M. J.; LAU, S. L. A. Multipathway risk assessment on disinfection by-products of drinking water in Hong Kongll, **Environmental Research**, v. 94, pp. 48-55, 2004.

MADRONA, G. S.; SERPELLONI, G. B.; VIEIRA, A. M. S.; NISHI, L.; CARDOSO, K. C.; BERGAMASCO, R. Study of the effect of saline solution on the extraction of the *Moringa oleifera* seeds active component for water treatmentll, **Water Air and Soil Pollution**, v. 211, p. 409-415, 2010.

MARMO, R. M., **Formação e remoção de trihalometanos em águas de abastecimento tratadas, na pré-oxidação, com cloro livre**. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil (UNICAMP), Campinas, SP, Brasil, 2005.



Periódico Eletrônico

Fórum Ambiental

da Alta Paulista

ISSN 1980-0827
Volume 9, Número 11, 2013

Saúde, Saneamento e
Meio Ambiente



ANAP

NIKOLAOU, A. D.; LEKKAS, T. D.; GOLFINOPOULOS, S. K.; KOSTOPOULOU, M. N. Application of different analytical methods for determination of volatile chlorination by-products in drinking water, **Talanta**, v. 56, pp. 717-726, 2002.

USEPA – United States Environmental Protection Agency, Alternative Disinfectants and Oxidants. **Guidance Manual**, Cincinnati, Ohio, EUA (a), 1999.

ZHAO, R.; LAO, W.; XU, X. Headspace liquid-phase microextraction of trihalomethanes in drinking water and their gas chromatographic determination, **Talanta**, v. 62, pp. 751-755, 2004.