

I-028 - REDUÇÃO DE FLÚOR EM ÁGUA SUBTERRÂNEA COM COAGULANTE AQUOSO DE SEMENTES DE *Moringa oleifera* LAM

Vinicius Masquetti da Conceição⁽¹⁾

Tecnólogo em Saneamento pela Universidade Estadual de Maringá (UEM). Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Doutorando em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Graduando em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Central Paulista (UNICEP).

Rosângela Bergamasco

Engenheira Química pela Universidade Estadual de Maringá (UEM). Doutora em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Pós-Doutora pela Université Laval. Professora associada do Departamento de Engenharia Química (DEQ/UEM).

Endereço⁽¹⁾: Departamento de Hidráulica e Saneamento - Universidade de São Paulo, EESC/USP, Av. Trabalhador São Carlense, 400 - São Carlos, SP - CEP: 13566-590 - Brasil - Tel: (16) 3373-9552 - e-mail: viniciusmasquetti@sc.usp.br

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo geral avaliar a eficiência de redução de flúor em água subterrânea fluorada a partir do processo de coagulação/floculação/sedimentação (C/F/S) utilizando extratos de sementes de *Moringa oleifera* Lam (MO) como coagulante natural alternativo. Os ensaios de C/F/S foram conduzidos em equipamento *Jar test* para as concentrações iniciais de flúor de 3,0 e 5,0 mg F/L e, dosagens de *Moringa* de 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0 e 5,0 g/L. Os resultados obtidos demonstraram uma remoção de até 69 %. O processo de C/F/S com extratos de MO apresentou-se como uma boa alternativa para a redução do excesso de flúor em água subterrânea acima dos padrões estabelecidos pela Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde, tendo-se em vista a utilização de um coagulante natural, biodegradável e responsável pela produção de menor volume de lodo, diferentemente do que é observado com a utilização dos coagulantes químicos.

PALAVRAS-CHAVE: Desfluoretação, Água Subterrânea, *Moringa oleifera* Lam, Coagulação/floculação/sedimentação, Redução de Flúor.

INTRODUÇÃO

As águas provenientes de mananciais superficiais destinadas ao abastecimento público necessitam ser adequadamente tratadas para a remoção de diversos compostos e substâncias indesejáveis, principalmente no que se refere a sua qualidade microbiológica e ao aspecto visual (cor e turbidez) para a sua adequada distribuição e consumo.

A maioria das impurezas coloidais presentes na água constitui-se de cargas negativas tornando assim os coagulantes catiônicos uma alternativa viável ao tratamento de água para o abastecimento.

O processo convencional de coagulação seguido por floculação é uma alternativa que apresenta boa eficiência na remoção de diversos compostos presentes nas águas de abastecimento. A finalidade da coagulação e floculação é transformar as impurezas que se encontram em suspensão fina, em estado coloidal ou em solução, bactérias, protozoários ou plâncton, em partículas maiores (flocos) para que possam ser removidas por sedimentação e/ou filtração ou, em alguns casos, por flotação (NISHI, 2010).

Dentre os principais agentes coagulantes utilizados atualmente nas estações de tratamento de água estão o sulfato de alumínio, cloreto férrico, sulfato ferroso, sulfato férrico, policloreto de alumínio, polímeros catiônicos, entre outros.

No entanto, tem-se verificado nos últimos anos, a busca por agentes coagulantes naturais com características próximas aos produtos químicos empregados no processo de coagulação/floculação para o tratamento de água e efluentes em geral.

Os coagulantes naturais apresentam várias vantagens em relação aos coagulantes químicos, como biodegradabilidade, não tóxicos e ainda produzem lodo em menor quantidade e com menores teores de metais quando comparados aos coagulantes químicos (MADRONA et al., 2010).

Diversos trabalhos na literatura têm relato o emprego de sementes da *Moringa oleifera* Lam (MO) como coagulante natural alternativo para clarificação de águas. A MO pertence a família Moringaceae sendo composta apenas de um gênero (*Moringa*) e quatorze espécies conhecidas. As sementes possuem polissacarídeos com forte poder aglutinante, o que permite o uso das sementes pulverizadas no tratamento de água por floculação e sedimentação.

As sementes de *Moringa* possuem uma proteína que, quando solubilizada em água, é capaz de promover a coagulação e floculação de compostos que promovem a cor e turbidez de águas altamente turvas. Vários estudos têm demonstrado também sua efetiva capacidade antimicrobiana, contribuindo dessa forma para uma água de boa qualidade a um baixo custo (BERGAMASCO et al., 2010).

Segundo NDABIGENGESERE e NARASIAH (1996), as sementes de MO são uma alternativa viável de agente coagulante em substituição aos sais de alumínio, utilizados no tratamento de água. Comparada com o alumínio, essas sementes não alteram significativamente o pH e a alcalinidade da água após o tratamento e não causam problemas de corrosão.

Neste sentido, no presente trabalho foi investigado o processo de coagulação/floculação/sedimentação (C/F/S) utilizando extratos de sementes de *Moringa oleifera* Lam como agente coagulante natural na redução do excesso de flúor em amostras de água subterrânea fluorada, adequando-as aos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria nº 2.914 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde.

MATERIAIS E MÉTODOS

Na Figura 1, é apresentado o fluxograma da metodologia utilizada neste estudo na redução do excesso de flúor em amostras de águas subterrânea fluorada.

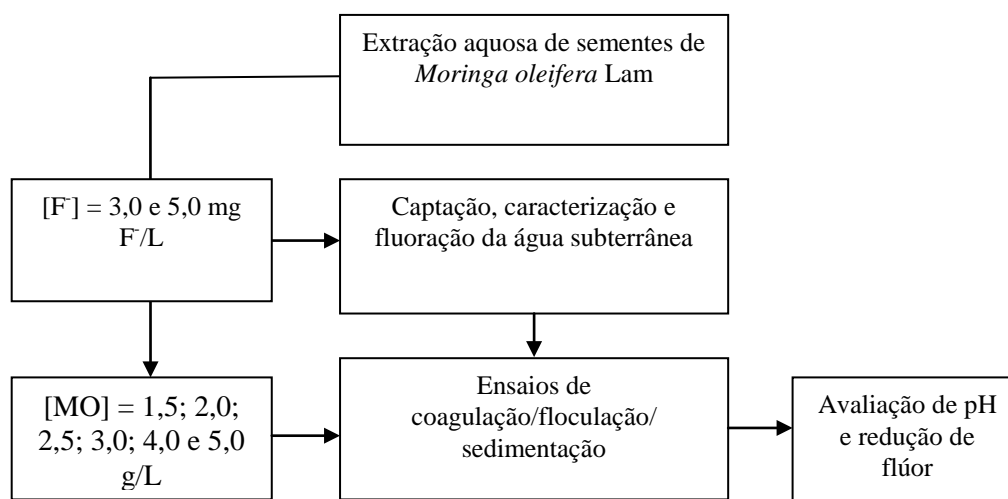


Figura 1: Fluxograma da metodologia empregada no trabalho.

As amostras de água subterrânea utilizadas nos ensaios foram provenientes de um poço tubular com 150 m de profundidade, localizado no município de Maringá, estado do Paraná, Brasil.

Em virtude da dificuldade de acesso e obtenção de águas subterrâneas com excesso de flúor na região, optou-se por adicionar flúor na água de poço para se conseguir trabalhar com amostras que simulassem águas

subterrâneas naturais com excesso de fluoretos. O sal utilizado para fluorar a água, foi o fluoreto de sódio (NaF) nas concentrações iniciais de 3,0 e 5,0 mg F/L.

A caracterização físico-química da água do poço foi realizada pelos parâmetros físico-químicos de cor, turbidez, pH, flúor, alumínio, ferro, prata, arsênio, magnésio e zinco.

As soluções de extrato coagulante de MO foram preparadas e utilizadas sempre no mesmo dia de execução dos ensaios. Foram pesados 5,0 g de sementes descascadas provenientes do Campus da Universidade Federal de Sergipe (UFS) em Aracaju, que foram trituradas e adicionadas a 0,1 L de água deionizada, correspondendo a uma concentração de 5 % (50 g/L). Posteriormente, a solução foi agitada durante 60 min e filtrada a vácuo. As dosagens de solução coagulante MO investigada foram de 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0 e 5,0 g/L.

Os ensaios de coagulação/floculação/sedimentação consistiram em submeter 0,2 L de amostras de água subterrânea fluorada em béqueres de 0,6 L para cada dosagem do coagulante. As condições operacionais do processo foram: gradiente de mistura rápida (GMR) de 120 s⁻¹, tempo de coagulação (TC) de 3 min, gradiente de mistura lenta (GML), 20 s⁻¹, tempo de floculação (TF) de 15 min e tempo de sedimentação (TS) de 60 min (MADRONA, 2010).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 1 é apresentada a caracterização físico-química da água subterrânea bruta proveniente do poço tubular, utilizada nos ensaios de coagulação/floculação/sedimentação.

Tabela 1: Caracterização físico-química da água bruta subterrânea utilizada nos ensaios de coagulação/floculação/sedimentação.

Parâmetro	Unidade	Valores Médios	Portaria n° 2.914/2011 MS (VMP)
Cor aparente	uH	5	15
Turbidez	NTU	3	5
pH	-	7,10 - 7,20	6,5 a 9,5
Flúor	mg/L	0,08	1,5
Alumínio	mg/L	1,57	0,2
Arsênio	mg/L	0,35	0,01
Prata	mg/L	0,02	0,05
Ferro	mg/L	0,66	0,3
Manganês	mg/L	8,54	0,1
Zinco	mg/L	0,19	5

* VMP (Valor Máximo Permitido).

Pode-se observar a partir dos valores constantes na Tabela 1 que, as amostras de água bruta subterrânea utilizada nos ensaios apresentaram valores de cor e turbidez relativamente baixos (5 uH e 3 NTU, respectivamente), estando estes valores e a faixa de pH de acordo com o limite máximo estabelecido pela Portaria 2.914/2011 do MS.

A concentração de flúor detectada na água do poço foi de 0,08 mg F/L, bem abaixo do limite máximo de 1,5 mg F/L estabelecido pelo MS.

Em relação aos metais encontrados na água subterrânea, estes merecem destaque. A concentração encontrada para o alumínio foi de 1,57 mg/L, acima do limite máximo de 0,20 mg/L estabelecido pela legislação.

A concentração de arsênio ultrapassou o valor de 0,01 mg/L estabelecido na legislação, sendo encontrada uma concentração de 0,35 mg/L. A presença de arsênio nas águas está relacionada principalmente com os processos de liberação dos solos, rochas e sedimentos (SGORLON, 2011).

Para o metal prata, a concentração detectada na água subterrânea foi de 0,02 mg/L, valor este também acima do padrão máxima admitido pela Portaria 2.914/2011 do MS. O metal ferro apresentou uma concentração acima do valor máximo estabelecido de 0,3 mg/L, sendo o valor encontrado de 0,66 mg/L, o dobro do valor máximo permitido. A detecção desse elemento nas águas está relacionada, muito provavelmente ao processo de erosão e carreamento do solo (SGORLON, 2011).

A concentração de manganês encontrada foi de 8,54 mg/L, valor esta também bem acima do limite legal de 0,1 mg/L. Em relação ao zinco, este foi o único metal que apresentou concentração na água subterrânea abaixo do limite de 5 mg/L estabelecido pelo MS, sendo o valor encontrado de 0,19 mg/L.

Na Figura 2 é apresentado os resultados encontrados para o residual de flúor e as respectivas eficiência de remoção obtidos nos ensaios de coagulação/floculação/sedimentação com água subterrânea fluorada para as concentrações iniciais de 3,0 e 5,0 mg F/L.

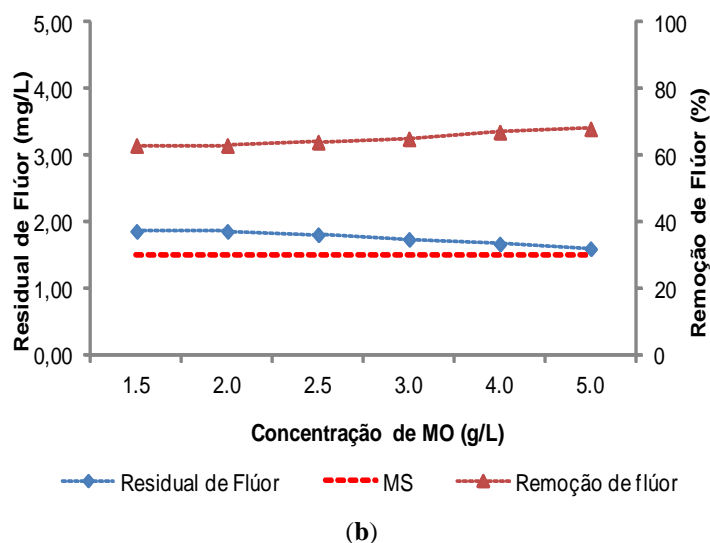
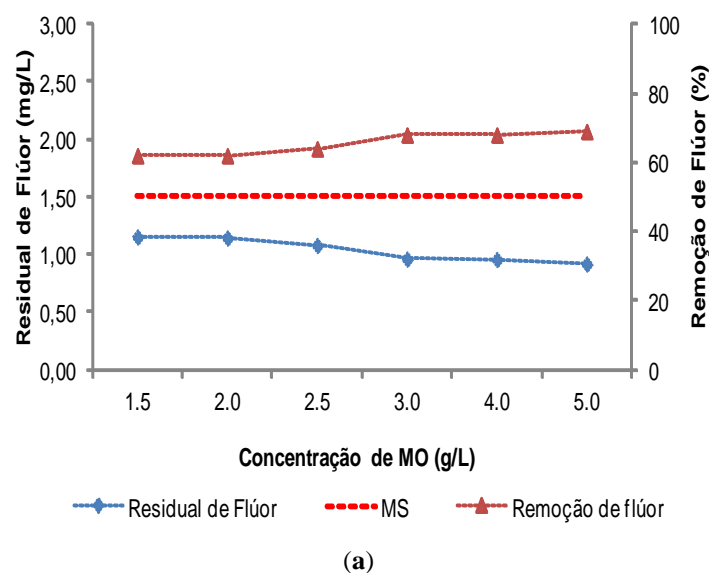


Figura 2: Valores dos residuais e remoção de flúor obtidos nos ensaios para a concentração inicial de 3,0 mg F/L (a) e 5,0 mg F/L (b).

Analisando os dados constantes na Figura 2, observa-se que houve significativa redução do flúor após os ensaios de coagulação/floculação/sedimentação utilizando extrato aquoso de MO como agente coagulante.

Os residuais de fluoreto (Figura 2a), obtidos para as dosagens de 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0 e 5,0 g/L de MO a partir da concentração inicial de 3 mg F/L, foram da ordem de 1,15; 1,14; 1,08; 0,96; 0,96 e 0,92 mg/L, respectivamente, sendo que, todos os valores encontram-se abaixo do limite máximo de 1,5 mg F/L estabelecido pela Portaria 2.914/2011 do MS para a águas destinadas ao consumo humano.

Os valores de porcentagem de remoção de flúor obtidos para a concentração inicial de flúor de 3 mg/L foram de 62, 62, 64, 68, 68 e 69 %, respectivamente, para as concentrações de 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0 e 5,0 g/L de MO, demonstrando valores de porcentagem de remoção próximos.

BAZANELLA (2010), estudou também a utilização de extratos aquoso de MO na remoção de flúor em água sintética, obtendo-se valores de residuais de flúor da ordem de 1,61 e 1,03 mg F/L para a concentração inicial de fluoreto de 3 mg/L e concentrações de 12,5 e 25 g/L de MO.

SILVA et al. (2006), obteve residuais de fluoreto superiores aos encontrados aqui, da ordem de 1,50; 1,50; 1,40 e 1,00 mg F/L para as dosagens de 1,25; 2,50; 6,25 e 12,5 g/L de extratos de MO, valores esses de solução coagulante também maiores.

A partir dos dados constantes na Figura 2b, pode-se observar que houve também, significativa redução do flúor para a concentração inicial de 5 mg F/L, sendo obtido os residuais de fluoreto de 1,86; 1,86; 1,81; 1,74; 1,64 e 1,60 mg/L para as concentrações de 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0 e 5,0 g/L de extratos de semente de MO, respectivamente.

Verificou-se que os residuais de flúor obtidos para a concentração inicial de 5 mg F/L, encontram-se próximos ao limite máximo estabelecido pela Portaria 2.914/2011 do MS, conforme observado na Figura 1 b. Os valores de porcentagem de remoção de flúor obtidos foram da ordem de 63, 63, 64, 65, 67 e 68 %, respectivamente, para as concentrações de 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0 e 5,0 g/L de MO, demonstrando também valores próximos de porcentagem de remoção.

Na Figura 3 é apresentado os valores de pH obtidos nos ensaios de coagulação/floculação/sedimentação com água subterrânea fluorada para as concentrações iniciais de 3,0 e 5,0 mg F/L.

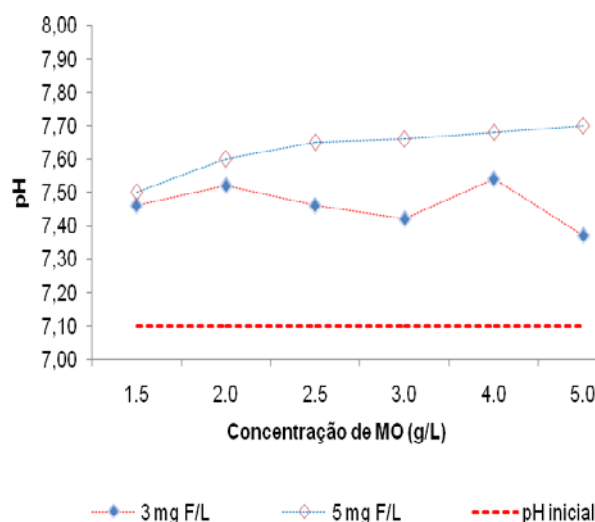


Figura 3: Valores de pH obtidos nos ensaios para a concentração inicial de 3,0 e 5,0 mg F/L.

Quanto aos valores de pH final (Figura 3), não houve aumento ou redução significativa para ambas as concentrações iniciais de flúor, mantendo-se todos os valores dentro da faixa de neutralidade, variando em

torno de 7,37 a 7,70 para as dosagens de 1,5 e 5,0 g/L de MO, respectivamente, não necessitando de uma posterior etapa de correção após o tratamento.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos a partir dos ensaios de coagulação/floculação/sedimentação, demonstraram bons valores de eficiência para o tratamento proposto, sendo que para a concentração inicial de flúor de 3 mg F/L os residuais de fluoreto foram da ordem de 1,15 a 0,92 mg F/L, para a menor e maior concentração de MO, respectivamente, verificando no entanto que, todos os valores obtidos estão de acordo com o valor máximo estabelecido pela Portaria nº 2.914/2011 do MS.

Observou-se também que para os ensaios utilizando a concentração inicial de fluoreto de 5 mg/L, os residuais obtidos para todas as concentrações de MO, ficaram próximos ao padrão de potabilidade, oscilando entre 1,86 a 1,60 mg F/L.

A partir da caracterização da água bruta subterrânea, pode-se verificar que, em decorrência à presença de metais (principalmente alumínio e ferro), provavelmente o íon fluoreto pode ter interagido com esses metais, formando precipitado e, favorecendo a sua remoção.

O pH final das amostras ficou dentro da faixa de neutralidade, demonstrando a boa capacidade tamponante dos extratos de MO na manutenção do pH, não exigindo, neste caso, uma posterior etapa de correção após o tratamento.

De modo geral, o processo de C/F/S com extratos de MO apresentou-se como uma boa alternativa para a redução do excesso de flúor em água subterrânea, tendo-se em vista a utilização de um coagulante natural, biodegradável e responsável pela produção de menor volume de lodo, diferentemente do que é observado com a utilização dos coagulantes químicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALVARINHO, S.B.; MARTINELLI, J. R. 2000. Utilização de alumina para a remoção de fluoretos em águas e efluentes. Cerâmica, vol.46 – nº 298, São Paulo.
2. ANDREAZZINI, M.J.; FIGUEIREDO, B.R.; LICHT, O.A.B. Comportamento geoquímico do flúor em águas e sedimentos fluviais da região de Cerro Azul, estado do Paraná, Brasil. Revista Brasileira de Geociências, volume 36, 2006, p. 336-346.
3. BAZANELLA, G.C.S. 2010. Processo de desfluoretação de águas subterrâneas a partir do uso de coagulantes naturais e do processo de separação por membranas. 82 f. Dissertação (mestrado) Programa de Pós-graduação em engenharia química, Universidade Estadual de Maringá - UEM. Maringá.
4. BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE: Portaria nº 2.914, de 14 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. Brasília, 2011.
5. MADRONA, G.S., SERPELLONI, G.B., VIEIRA, A.M.S., NISHI, L., CARDOSO, K.C., BERGAMASCO, R., 2010, Study of the effect of saline solution on the extraction of the *Moringa oleifera* seed's active component for water treatment. Water, Air and Soil Pollution. 211:409–415.
6. NISHI, L., 2010, Estudo do processo de coagulação/floculação seguido de filtração com membranas para remoção de cisto de *Giardia* e oocistos de *cryptosporidium* em águas de abastecimento. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá – UEM, Maringá, Paraná.
7. NDABIGENGESERE A., NARASIAH, S.K., 1996, Influence of Operating Parameters on Turbidity Removal by Coagulation with *Moringa oleifera* Seeds, Environmental Technology. 17:1103-1112.
8. PIRES, M.B.O. 2001. Fluorose dentária endêmica: revisão de literatura. Unimontes Científica. Montes Claros, v.2, n.2.
9. SILVA, C. A.; MIRANDA, F.M.; PAULA, L.O.; COELHO, N.M. 2006. Uso da *Moringa oleifera* para remoção de flúor em águas. Revista Analytica, São Paulo, n. 21, p. 72-75.

10. SGORLON, J. Monitoramento da Qualidade da Água da Bacia do Médio Rio Pirapó (Dissertação de Mestrado). Universidade Estadual de Maringá – UEM, Maringá/PR, 2011.
11. STRUCKMEIER, W.; RUBIN, Y.; JONES, J.A.A. Água subterrânea - reservatório para um planeta com sede?. Comissão Nacional da UNESCO, 2007. Disponível em: www.yearofplanetearth.org, acessado em: 10 de março de 2010.