



I-285 – USO DE COAGULANTES NATURAIS A BASE DE SEMENTES DE *Moringa oleifera* E TANINO VISANDO A REDUÇÃO DE TURBIDEZ E COR APARENTE EM ÁGUAS DE ABASTECIMENTO PARA COMUNIDADES RURAIS

Camila Clementina Arantes⁽¹⁾

Tecnóloga em Saneamento Ambiental pelo Centro Superior de Educação Tecnológica da Universidade Estadual de Campinas (CESET/UNICAMP). Mestranda em Engenharia Civil na Faculdade de Engenharia Civil (FEC/UNICAMP).

José Euclides Stipp Paterniani

Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia de Piracicaba (EEP-FUMEP). Mestre em Engenharia Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Doutor em Engenharia Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Professor livre docente da Faculdade de Engenharia Agrícola (UNICAMP).

Lubienska Cristina Lucas Jaquiê Ribeiro

Engenheira Civil pela Escola de Engenharia de Lins. Mestre em Engenharia Civil pela UNICAMP. Doutora em Engenharia Civil pela UNICAMP. Professora e pesquisadora do Centro Superior de Educação Tecnológica (CESET/UNICAMP).

Endereço⁽¹⁾: Av. Candido Rondon, 501 - Barão Geraldo - Campinas - SP – CEP: 13083-875 – Brasil – Tel (19)3521-1029 - e-mail: kamilarantes@yahoo.com.br

RESUMO

Na zona rural, a população se encontra distribuída de maneira bastante dispersa ou em pequenas comunidades com baixo índice populacional, impossibilitando a implantação de sistemas de abastecimento de água convencionais, com estações de tratamento distribuindo água tratada ao consumidor da maneira que ocorre nos centros urbanos. Desta forma, em regiões que não contam com água de boa qualidade para consumo humano e serviço público de abastecimento de água a adoção de sistemas simplificados de tratamento e alternativas que possam melhorar a qualidade da água é de suma importância. Entre as alternativas adotadas nestas situações tem-se o uso de sementes de *Moringa oleifera* como coagulante natural. Esta prática já é adotada em algumas regiões do mundo, inclusive no Nordeste brasileiro. A maneira como estas sementes são utilizadas como coagulante é bastante simples, sendo que não requer adoção de equipamentos sofisticados ou que necessitem de uso de energia elétrica para seu processamento. Quando instruído corretamente sobre como processar as sementes e qual a melhor dosagem para um determinado tipo de água o próprio consumidor é capaz de efetuar o processo de tratamento. Com este trabalho pretende-se avaliar dois coagulantes naturais: a *Moringa oleifera* e o Tanfloc SG líquido (um tanino vegetal extraído de acácia negra) em diferentes dosagens, comparando seu desempenho na remoção de cor aparente e turbidez. Pretende-se também, por meio desta comparação avaliar a viabilidade do uso da *Moringa oleifera* como uma alternativa de tratamento de água na zona rural e/ou em pequenas comunidades. Os dois coagulantes utilizados apresentaram eficiência elevada na remoção de turbidez e cor aparente. Quando comparada com o Tanfloc que é um produto industrializado, a *Moringa oleifera* apresentou resultados bastante satisfatórios.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de Água, Coagulantes Naturais, *Moringa oleifera*, Tanino, Comunidades Rurais

INTRODUÇÃO

Em regiões com elevada densidade populacional e industrial grande parte dos corpos d'água estão comprometidos devido a poluição. Todavia, tal problema afeta também regiões rurais, com baixo índice populacional. Diversos problemas ambientais que afetam a zona rural podem comprometer a qualidade da água superficial. Desmatamento de encostas e matas ciliares, práticas agrícolas que provocam erosão do solo, uso de fertilizantes e produtos químicos utilizados na produção agrícola que afetam os corpos d'água, despejo de diversos tipos de efluentes em condições inadequadas, falta de gerenciamento de resíduos sólidos são alguns destes problemas.



De acordo com RAMOS (2005), o abastecimento de água pode ser classificado em individual ou coletivo. Em regiões com elevada densidade demográfica soluções coletivas são mais econômicas, já as soluções individuais podem ser adotadas enquanto se aguarda a implantação de sistemas coletivos em determinadas áreas de uma cidade, embora os sistemas individuais sejam considerados uma solução precária nestas condições (RAMOS, 2005). Sistemas individuais são indicados para áreas rurais.

No caso de sistemas individuais normalmente o consumidor é o responsável pela captação e pelo tratamento da água a ser consumida se este último for necessário. As alternativas de tratamento oferecidas neste caso devem ser de fácil operação e baixo custo. Na zona rural e/ou pequenas comunidades as principais alternativas adotadas que podem melhorar a qualidade da água são: uso de filtração lenta, processos de coagulação e floculação utilizando tanto coagulantes naturais como sintéticos seguidos de sedimentação, adoção de desinfecção solar ou cloração, além de alternativas mais simples, como fervura da água e uso de filtros com vela. A escolha do tratamento a ser adotado deve ser feita em função das características da água a ser tratada e da viabilidade econômica do tratamento em questão, principalmente em regiões carentes.

Determinadas partículas presentes na água apresentam carga negativa em sua superfície, impedindo que ocorra aproximação entre tais partículas e sedimentação das partículas maiores. Por isso, faz-se necessário alterar a força iônica do meio, adicionando principalmente sais de alumínio e ferro ou polímeros sintéticos, caracterizando a coagulação (DI BERNARDO, 1993). A coagulação é um processo onde ocorre mistura rápida entre o coagulante e a água a ser tratada, é resultado de dois fenômenos: o primeiro, essencialmente químico, consiste nas reações do coagulante com a água e na formação de espécies hidrolisadas com carga positiva. O segundo, fundamentalmente físico, consiste no transporte das espécies hidrolisadas para que haja contato com as impurezas presentes na água (DI BERNARDO, 1993) permitindo a desestabilização das partículas.

Em seguida ocorre a floculação, que é caracterizada por mistura lenta no meio por um determinado período de tempo com objetivo de promover choques entre as partículas que vão se agrupando, formando flocos que podem se sedimentar mais rapidamente.

Diversos compostos químicos podem ser usados na coagulação. Os coagulantes clássicos ou convencionais, como: sulfato de alumínio, cloreto férrico, além de outros, devido a grande eletropositividade dos elementos químicos que os compõem, quando são dissolvidos na água, geralmente formam compostos gelatinosos, dotados de cargas positivas (BORBA, 2001). Tais coagulantes apresentam baixo custo e se mostram efetivos na remoção de impurezas de diferentes naturezas. No entanto o lodo gerado quando da utilização destes coagulantes apresenta resíduos destes sais. Além disso, o acesso a tais produtos na zona rural nem sempre é possível.

Por outro lado, existem coagulantes de origem orgânica que podem ser cultivados em regiões onde o acesso a produtos industrializados é precário, como a *Moringa oleifera*. O uso das sementes desta planta como coagulante na clarificação de águas turvas é uma técnica adotada em diversas regiões carentes do planeta, como no Sudão, outros países da África, no Nordeste brasileiro, entre outros (BORBA, 2001).

A *Moringa oleifera* é uma espécie perene originária do nordeste indiano, que se desenvolve em regiões desde as subtropicais secas e úmidas, até tropicais secas e florestas úmidas, sendo tolerante à seca (GALLÃO, 2006). É considerada uma planta de múltiplos usos. Apresenta elevados valores nutricionais quando inserida na dieta humana, sendo fonte de vitamina C, betacaroteno e proteínas totais (FERREIRA *et al.*, 2008). Suas folhas, frutos e sementes podem ser utilizadas também na alimentação de animais. O óleo extraído das sementes é utilizado na produção de sabão, como combustível, na indústria de cosmético e estudos revelam que tal óleo apresenta características para produção de biodiesel com bons rendimentos e propriedades adequadas (SERRA *et al.*, 2007). E, como já citado, suas sementes podem ser utilizadas no tratamento de água. Desta forma pode-se afirmar que a introdução de tal planta em comunidades rurais e/ou carentes tem muito a contribuir para a melhoria da qualidade de vida de tal população.

Uma proteína presente nas sementes da *Moringa oleifera* é considerada o composto de maior importância no processo de clarificação da água (GALLÃO, 2006). Esta proteína hidrossolúvel apresenta sítios com cargas positivas (NAKHATA, 2001) responsáveis pelo processo de coagulação e floculação. Quando comparada com o sulfato de alumínio, a *Moringa oleifera* não promove alterações significativas no pH da água tratada. Além



disso, o lodo gerado quando se utiliza *Moringa oleifera* como coagulante é inócuo e com volume até cinco vezes menor do que o gerado pelo sulfato de alumínio (NDABIGENGESERE *et al.* 1995).

Porém, algumas recomendações devem ser seguidas na utilização da *Moringa oleifera* como coagulante. Recomenda-se que a água tratada com este coagulante seja utilizada no mesmo dia do tratamento, não ficando armazenada por longos períodos de tempo. De acordo com Ndabigengesere & Narasiah (1998) o uso da solução a base de *Moringa oleifera* aumenta o teor de matéria orgânica da água tratada, aumentando a demanda por cloro e podendo levar a formação de trihalometanos durante a desinfecção. Desta forma, recomenda-se o uso de desinfecção solar.

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Saneamento da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP. Utilizando o aparelho Jar Test em laboratório foram realizadas as três fases do processo de coagulação/floculação: mistura rápida (coagulação), mistura lenta (floculação) e sedimentação.

O aparelho utilizado possui 6 jarros com capacidade de 2 litros cada um. Inicialmente foi adicionado a cada jarro 2 litros da água a ser tratada. Após a adição dos coagulantes nas dosagens indicadas para cada ensaio conforme mostra a TABELA 1 iniciou-se a fase de mistura rápida. Nesta etapa manteve-se um gradiente de velocidade igual a 800 s^{-1} por 60 segundos. Após este período reduziu-se o gradiente de velocidade para 20 s^{-1} . Deu-se início então à mistura lenta, cujo gradiente de velocidade foi de 20 s^{-1} por 15 minutos. Após os 15 minutos desligou-se a agitação, deixando a água decantar por 30 minutos, período referente à sedimentação. Ao longo da sedimentação, em intervalos específicos, foram coletadas amostras para realização das análises de pH, cor aparente e turbidez.

A água a ser tratada consistia de água sintética obtida por bentonita, cujo procedimento de preparo foi baseado nas metodologias apresentadas por Mendes (1989) em seu doutorado, sob orientação do Prof. Di Bernardo. Deve-se ressaltar que houve algumas adaptações na metodologia proposta por Mendes. Para uma turbidez de 100 NTU foi adicionada 400 mg/L de bentonita em água destilada. Agitou-se a solução em aparelho jar-test por 30 minutos com gradiente de velocidade igual a 400 s^{-1} . Após ser mantida por 24 horas de repouso, retirou-se o sobrenadante com cuidado para evitar que a Bentonita sedimentada se resuspendesse.

O Tanfloc SG líquido é uma solução concentrada, portanto foi efetuado o preparo de soluções diluídas a 10% e 1% do mesmo. Para a obtenção do coagulante natural extraído das sementes de *Moringa oleifera* utilizou-se o seguinte procedimento: retirou-se a casca das sementes e triturou-se as mesmas com o uso de um pilão até se obter um pó. Passou-se o pó em uma peneira de abertura 0,8 mm para retirada de partículas maiores que não foram trituradas. Misturou-se o pó em água destilada utilizando uma porcentagem de 7,5% do peso de pó sobre o volume de água. Agitou-se por 2 minutos no agitador magnético. Aguardou-se 5 minutos após a agitação para a utilização da solução coagulante. O sexto jarro, denominado testemunha, foi mantido sem coagulante.

O trabalho foi dividido em 3 etapas. A primeira etapa teve como objetivo a definição da melhor diluição a ser efetuada para o Tanfloc. Nesta etapa definiu-se que a melhor diluição a ser utilizada seria 1%. Na segunda etapa trabalhou-se com a melhor diluição obtida na etapa anterior com objetivo de se chegar a melhor dosagem deste coagulante para a água em questão. Na terceira etapa foi efetuada comparação entre as melhores dosagens de Tanfloc e *Moringa oleifera*.

Tabela 1: Dosagem de Coagulante por Jarro e Ensaio

Dosagem de Coagulante por Jarro e Ensaio						
Etapa	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Etapa 1	Tanfloc ¹ 1,5 ml/L	Tanfloc ¹ 3 ml/L	Tanfloc ¹ 6 ml/L	Tanfloc ¹ 12 ml/L	Tanfloc ² 3 ml/L	-
Etapa 2	Tanfloc ² 1,5 ml/L	Tanfloc ² 3 ml/L	Tanfloc ² 6 ml/L	Tanfloc ² 12 ml/L	Tanfloc ² 24 ml/L	-
Etapa 3	M.O. ³ 300 mg/L	M.O. ³ 500 mg/L	M.O. ³ 700 mg/L	Tanfloc ² 6 ml/L	Tanfloc ² 12 ml/L	-

1 = Tanfloc SG diluído a 10%; 2 = Tanfloc SG diluído a 1%; 3 = *Moringa oleifera*.

PRIMEIRA ETAPA: DILUIÇÃO DO TANFLOC

Nesta etapa trabalhou-se com o Tanfloc SG diluído a 10% em quatro jarros e a 1% em um jarro. Foi efetuado tal procedimento devido ao fato de ainda não se conhecer qual a melhor diluição para o Tanfloc SG para o tipo de água adotado neste trabalho. Conforme mostrado na Tabela 1, as dosagens utilizadas foram 1,5 ml/l, 3 ml/l, 6 ml/l e 12 ml/l de Tanfloc SG diluído a 1%. Já diluído a 10%, foi utilizado 3 ml/l de Tanfloc SG.

RESULTADOS DA PRIMEIRA ETAPA

Os resultados desta primeira etapa se referem somente a redução de turbidez. Conforme mostra a figura 1, o Tanfloc apresentou maior redução de turbidez quando diluído a 1%, com eficiência de 86%. Já para o produto diluído a 10% pode-se observar que a medida que se aumenta a dosagem utilizada a turbidez remanescente também se eleva, confirmando que o a melhor diluição entre as duas testadas é 1%. Quando diluído a 10%, e adotada as dosagens de 1,5; 3; 6 e 12 ml/l as eficiências foram de 62%, 45%, 24% e 16% respectivamente. No jarro onde não foi adicionado coagulante não houve reduções significativas na turbidez. Inicialmente a turbidez era de 97 NTU atingindo valores de 95 NTU e 94 NTU aos 15 e 30 minutos respectivamente.

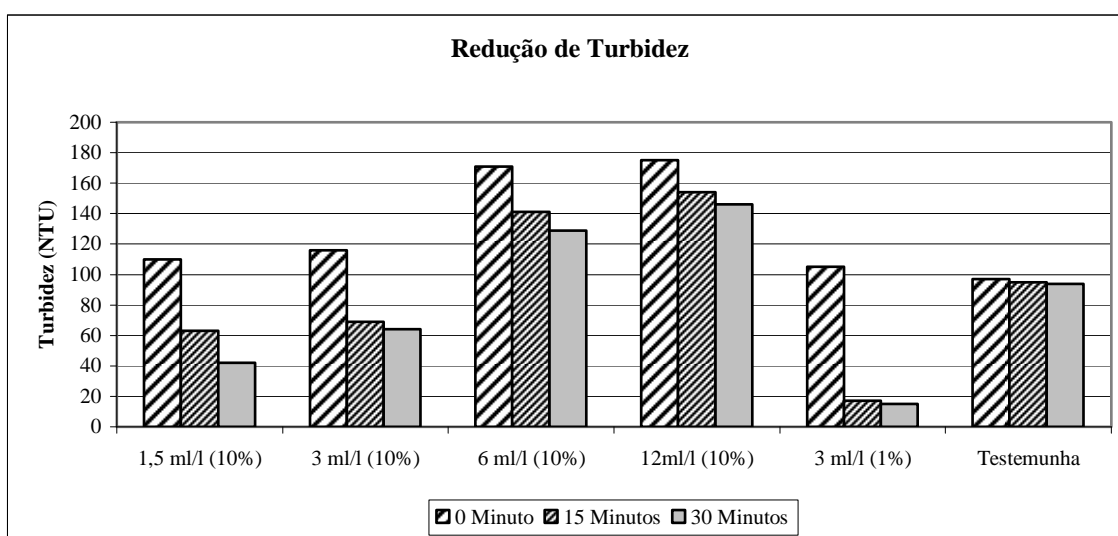


Figura1: Redução da turbidez ao longo do tempo para as diferentes diluições do Tanfloc.

Com relação ao pH pode-se observar que a utilização de Tanfloc diluído a 10% provoca alterações significativas no pH da água tratada. Inicialmente o pH se encontrava em torno de 7,4. Para o Tanfloc diluído a 10% os valores de pH ficaram entre 3,10 e 4,35, sendo que a medida que a dose era elevada, o valor de pH diminuía. Já para o Tanfloc diluído a 1% o pH ficou entre 6,47 e 6,17, não apresentando alterações significativas.

SEGUNDA ETAPA: MELHOR DOSAGEM PARA O TANFLOC

Nesta etapa, com base nos resultados obtidos na etapa anterior, foram realizados teste com o Tanfloc diluído a 1% com objetivo de se encontrar a melhor dosagem da solução coagulante. O objetivo foi encontrar dosagens que apresentem eficiência elevada para posteriormente comparar tais resultados com a solução a base de sementes de *Moringa oleifera*. As dosagens escolhidas para este teste foram: 1,5 ml/l, 3 ml/l, 6 ml/l, 12 ml/l e 24 ml/l de Tanfloc SG diluído a 1%. Novamente no sexto jarro não foi adicionado coagulante.

RESULTADOS DA SEGUNDA ETAPA

Nesta etapa avaliou-se a redução de turbidez e cor aparente para as diferentes dosagens do Tanfloc diluído a 1%. Como pode ser observado nas figuras 2 e 3 tanto para a redução de turbidez e cor aparente a melhor dosagem encontrada foi 6 ml/l, apresentando redução de 99% tanto para turbidez como para cor aparente.

Para dosagens superiores e inferiores a 6 ml/l houve uma gradativa redução da eficiência. Para a dosagem de 12 ml/l a redução de turbidez e cor aparente foi de 91% e 90% respectivamente. Para 24 ml/l esses valores



foram de 57% para redução de turbidez e 53% para redução de cor aparente. Com dosagens de 1,5 e 3 ml/l a redução de turbidez foi de 40% e 81% respectivamente e para cor aparente a redução foi 40% com dosagem de 1,5 ml/l e 83% para 3 ml/l.

Definiu-se então as duas melhores dosagens encontradas nesta etapa (6 e 12 ml/l) para serem comparadas com a solução a base de sementes de *Moringa oleifera* na terceira etapa.

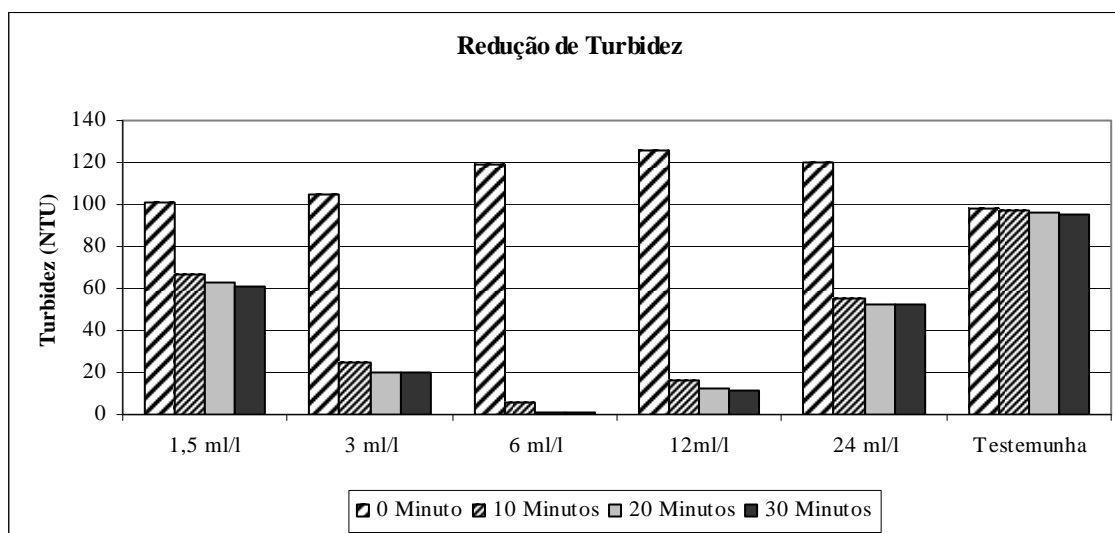


Figura 2: Redução da turbidez ao longo do tempo para diferentes dosagens de Tanfloc a 1%.

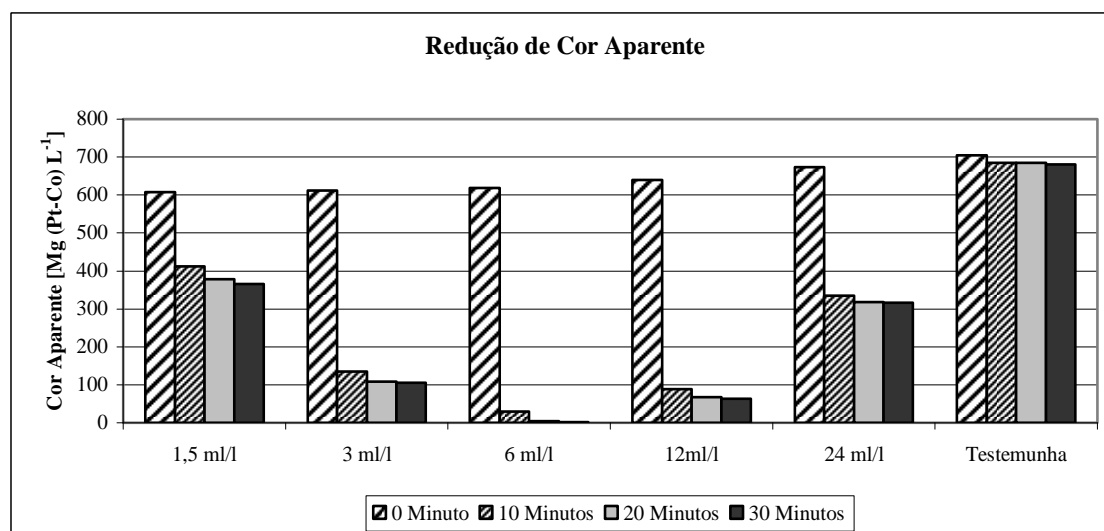


Figura 3: Redução da cor aparente ao longo do tempo para diferentes dosagens de Tanfloc a 1% .

Observou-se também que para elevadas dosagens de coagulante os valores de pH diminuí. Com dosagem de 24 ml/l o pH das amostras variou entre 3,98 e 3,93. Já para 12 ml/l esses valores ficaram entre 4,73 e 4,85. Para as demais dosagens o pH se manteve na faixa de 6-7, não apresentando valores tão diferente das água bruta, que durante os ensaios variou entre 6,92 e 6,95.

TERCEIRA ETAPA: COMPARAÇÃO ENTRE TANFLOC E *Moringa oleifera*

Conforme demonstrado na segunda etapa as melhores dosagens encontradas para o Tanfloc diluído a 1% foram 6 ml/l e 12 ml/l. Desta forma adotou-se estas duas dosagens para efetuar a comparação entre o coagulante Tanfloc e a solução a base de sementes de *Moringa oleifera*.

Estudos realizados por Mantovani (2006) e Santana (2006) mostraram que para uma turbidez de aproximadamente 100 NTU, quando foram testadas dosagens de 70, 150, 300 e 500 mg/l de solução a base de *Moringa oleifera* a que se apresentou mais eficiente foi 500 mg/l. Com base em tais resultados adotou-se dosagens de 300, 500 e 700 mg/l de *Moringa oleifera* no presente trabalho.

Portanto, a terceira etapa consistiu de ensaio utilizando Tanfloc diluído a 1% em dois jarros, nas dosagens de 6 e 12 ml/l. Em três jarros aplicou-se solução a base de sementes de *Moringa oleifera* utilizando dosagem de 300, 500 e 700 mg/l de solução a base de *Moringa oleifera*. O sexto jarro foi mantido somente com água sintética.

RESULTADOS DA TERCEIRA ETAPA

Conforme mostra as figuras 4 e 5 tanto a *Moringa oleifera* como o Tanfloc se mostraram eficientes na redução de turbidez e cor aparente nas dosagens adotadas nesta etapa. O Tanfloc quando utilizado em uma dosagem de 6 ml/l apresentou redução de turbidez de 99% e para cor aparente este valor foi virtualmente 100%. A dosagem de 12 ml/l apresentou redução de turbidez e cor aparente de 88% e 91%, respectivamente.

No caso da utilização da solução a base de sementes de *Moringa oleifera* a redução de turbidez foi de 94%, 95% e 97% para as dosagens de 300 Mg/l, 500 Mg/l e 700 Mg/l, respectivamente. Para cor aparentes a redução foi de 91% quando se utilizou 300 mg/l, 94% para 500 mg/l e 95% para 700 mg/l, evidenciando que apesar da diferença que há entre as dosagens adotadas, a redução de turbidez e cor aparente é bastante parecida para as três dosagens adotadas.

A aplicação de solução a base de sementes de *Moringa oleifera* não provocou alterações significativas no pH da água tratada.

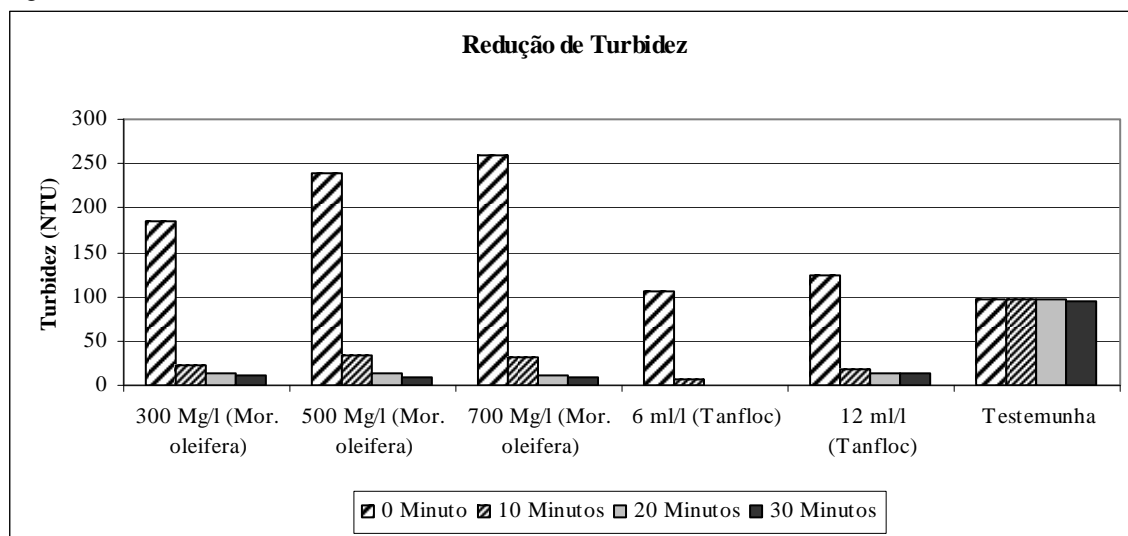


Figura 4: Redução da turbidez ao longo do tempo para diferentes dosagens de Tanfloc a 1% e de solução a base de sementes de *Moringa oleifera*.

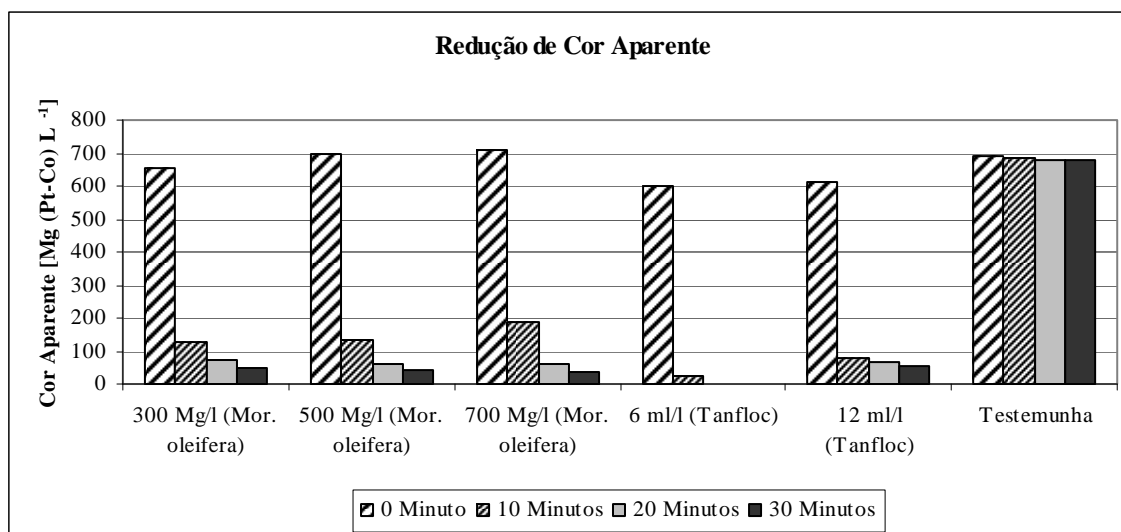


Figura 5: Redução da cor aparente ao longo do tempo para diferentes dosagens de Tanfloc a 1% e de solução a base de sementes de *Moringa oleifera*.

CONCLUSÕES

Para as condições propostas neste trabalho, tanto a *Moringa oleifera* como o Tanfloc SG diluído a 1% mostraram-se eficientes na redução de turbidez e cor aparente. Para a *Moringa oleifera* obteve-se eficiências de redução consideradas satisfatórias para as 3 (três) dosagens utilizadas. O Tanfloc SG diluído a 1% apresentou sua melhor eficiência nas dosagens de 6 ml/L e 12 ml/L.

Quando comparada com o Tanfloc que é um produto industrializado, a *Moringa oleifera* apresentou resultados bastante satisfatórios, evidenciando a viabilidade de sua utilização como um coagulante alternativo em regiões carentes de infra-estrutura no que se refere ao tratamento e abastecimento de água, como pequenas comunidades rurais. Deve-se salientar que tal planta se adapta bem as diversas regiões do país, sendo de fácil cultivo e que o procedimento de preparo da solução coagulante é simples e não requer equipamentos sofisticados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BORBA, L. R. Viabilidade do uso da *Moringa oleifera* Lam no tratamento simplificado de água para pequenas comunidades. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, PB, Julho de 2001.
- DI BERNARDO, L. Métodos e Técnicas de tratamento de Água - V. I e II. ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro, Brasil, 1993.
- GALLÃO, M. I.; DAMASCENO, L. F. & BRITO, E. S. Avaliação química e estrutural da semente de Moringa. Revista Ciência Agronômica, v.37, n°1, p.106-109. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, 2006.
- FERREIRA, P. M. P.; FARIAS, D. F.; OLIVEIRA, J. T. A. & CARVALHO, A. F. U. 2008. Moringa oleifera: bioactive compounds and nutritional potential. Revista Nutrição. Vol. 21, Pág. 431-437.
- MANTOVANI, M. C. Uso de Sementes de Moringa no tratamento de Água com Filtração Lenta Direta. Relatório Final de Iniciação Científica - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade de Campinas. Campinas-SP. 2006.
- MENDES, C. G. N. Estudo da coagulação e floculação de águas sintéticas e naturais com turbidez e cor variáveis. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo. São Carlos, SP, 1989.
- NDABIGENGESERE, A. & NARASIAH, K.S. Quality of water treated by coagulation using *Moringa oleifera* seeds. Water Research, v.32, n.3, p.781-791, 1998.
- NDABIGENGESERE, A.; NARASIAH, K.S. & TALBOT, B.G. Active agents and Mechanism of coagulation of turbid waters using *Moringa oleifera*. Water Research, vol. 29, n°. 2, pp. 706-710, 1995.



9. NKHATA, D. Moringa as an alternative to aluminium sulphate. 27th WEDC Conference Lusaka, Zambia, 2001.
10. RAMOS, R. O. Clarificação de água com turbidez baixa e cor moderada utilizando sementes de *Moringa oleifera*. Tese de doutorado. Faculdade de Engenharia Agrícola – Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP, 2005.
11. SANT'ANNA, M. R. Eficiência da Sedimentação com uso de Coagulante Obtido de Semente de *Moringa oleifera*. Relatório Final de Iniciação Científica - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade de Campinas. Campinas-SP. 2006.
12. SERRA, T. M.; SILVA, J. P. V.; SANTOS, I. C. F.; MENEGHETTI, M. R.; MENEGHETTI, S. M. P.; WOLF, C. R. & GOSSMANN, M. 2007. Obtenção de biodiesel metílico a partir de óleo de *Moringa oleifera* em presença de catalisador básico e ácido. In: 30ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química. V. TC-053. Pág. 155.