

ESTUDO DO POTENCIAL DA SEMENTE DE *MORINGA OLEÍFERA* COMO COAGULANTE/FLOCULANTE PARA O REUSO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS

Vieira, A. M. S.¹; Vieira M. F.²; Fagundes-Klen, M. R.³; Bergamasco, R.⁴

Resumo

A *Moringa oleífera* (MO) é um polímero natural que vem ganhando destaque no tratamento de águas superficiais e residuárias. O objetivo deste estudo foi utilizar a semente de MO como coagulante no tratamento de águas residuárias de pequenos laticínios para obtenção de uma água de reuso na própria unidade. Os experimentos de coagulação/floculação foram realizados em Jar test com acompanhamento dos parâmetros cor, turbidez e DQO. Os resultados obtidos demonstram que a remoção de cor, turbidez e DQO utilizando a MO com agente coagulante é influenciada pelas condições de experimentais como: concentração do coagulante, pH, tempo de agitação e carga orgânica. Verificou-se que a maior eficiência de remoção de cor, turbidez e DQO residual foi no teste de coagulação/floculação a 100 rpm por 60 min., para uma concentração de pó coagulante MO de 1g/L e carga orgânica de 1g/l. Quanto ao pH, verificou-se que os melhores resultados no processo de coagulação se encontram na faixa de 5 a 8, não havendo necessidade de seu ajuste, pois o pH a água residuária é próximo de 7,2.

Abstract

Moringa oleífera (MO) is a natural polymer that has gained prominence in surface water and wastewater treatment. The objective of this work was to use the MO seeds as a coagulant to treat the wastewater from small dairy industries producing water for reuse in the industry itself. The experiments of coagulation/flocculation were performed in Jar test monitoring color, turbidity and COD parameters. The results show that the removal of color, turbidity and COD using the MO as a coagulating agent is influenced by the experimental conditions as: coagulant concentration, pH, agitation time and organic load. It was found that the greater removal efficiencies of color, turbidity and residual COD were obtained in the coagulation/flocculation experiment using 100 rpm for 60 minutes, MO powder concentration of 1g / L and organic load concentration of 1 g / L. The best results were obtained in the range of pH 5-8. As the wastewater from dairy presents pH around 7.2, there is no need to adjust pH for the coagulation process to be efficient.

Palavras-chave: *Moringa oleífera*; coagulação/floculação; água residuária de laticínios.

^{1, 2, 4} Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo 5790, CEP: 87020-900, Maringá, Paraná. Telefone: (44) 3261-4745. Fax: (44) 3263-3440.

³ Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Toledo, Departamento de Engenharia Química, Rua da Faculdade, 645 - Jd. Santa Maria, CEP: 85903-000, Toledo, Paraná, Brasil.

¹angelicamsalcedo@hotmail.com; ²marcelofvieira@hotmail.com; ³fklen@bol.com.br; ⁴rosangela@deq.uem.br

1 - INTRODUÇÃO

Graças ao ciclo hidrológico, a água é um recurso renovável. Quando reciclada por meio de sistemas naturais, é um recurso limpo e seguro. Entretanto, uma vez poluída, a água pode ser recuperada e reusada para fins benéficos diversos. A qualidade da água utilizada e o objetivo específico do reuso dependem, evidentemente, de características, condições e fatores locais, dentre as quais podemos citar disponibilidade técnica e fatores econômicos (Braga et al., 2004).

Os custos elevados da água industrial associado às demandas crescentes têm levado as indústrias a avaliar as possibilidades internas de reuso. Os usos industriais com maior potencial de aproveitamento do reuso em áreas de concentração industrial significativas são basicamente os seguintes: torres de resfriamento, caldeiras, irrigação de áreas verdes de instalações industriais, lavagens de pisos e alguns tipos de peças, processos industriais (Braga et al., 2004).

A primeira regulamentação que tratou de reuso de água no Brasil foi a norma técnica NBR-13.696, de setembro de 1997. Nesta norma, o reuso é abordado como uma opção à destinação de esgotos de origem essencialmente doméstica ou com características similares. Para a indústria, o reuso constitui um passo importante e estratégico para alavancar o desenvolvimento sustentável. Dentre os principais benefícios ambientais, econômicos e sociais estão: redução do lançamento de efluentes industriais em cursos d'água; redução da captação de águas superficiais e subterrâneas; aumento da disponibilidade de água para usos mais exigentes.; conformidade ambiental em relação a padrões e normas ambientais estabelecidos; redução dos custos de produção; habilitação para receber incentivos e coeficientes redutores dos fatores da cobrança pelo uso da água; melhoria da imagem do setor produtivo junto à sociedade, com reconhecimento de empresas socialmente responsáveis (Hespanhol et al, 2007)

A indústria de laticínios é grande consumidora de água potável, em média, gera-se cerca de 3L de água residuária para cada litro de leite processado. No processamento do leite para consumo "in natura" as operações geradoras de águas residuárias são: lavagem e desinfecção de equipamentos (tanques, centrifugas, pasteurizador, homogeneizador, tubulações, latões, etc), quebra de embalagens contendo leite, perda nas enchedeiras e lubrificação dos transportadores (Matos, 2005). Segundo Van Der Leeden et al (1990) citado por ANA (2004), a distribuição do consumo de água por atividade em laticínios é de 53% para resfriamento sem contato, 27% para processos e atividades afins e 19% para usos sanitários e outros.

Os coagulantes são amplamente usados no tratamento de águas e águas residuárias. Os dois coagulantes mais amplamente utilizados são os sais de alumínio e ferro (III) (Okuda et al., 1999). O sulfato de alumínio destaca-se como o coagulante químico mais utilizado no Brasil, devido à boa

eficiência e ao baixo custo. Porém, como o alumínio não é biodegradável, elevadas concentrações desse composto podem ocasionar problemas à saúde humana, inclusive o aceleração do processo degenerativo do Mal de Alzheimer (Clayton, 1989), além de gerar um elevado volume de lodo (Ndabigengesere e Narasiah, 1998).

O uso da semente de *Moringa oleífera* (MO) como coagulante natural traz diversos benefícios, não só para o meio ambiente, mas também para comunidades carentes que podem se beneficiar do cultivo da árvore e colheita da semente gerando renda familiar.

As sementes de MO, podem atuar como coagulante de compostos em suspensão, responsáveis por cor e turbidez, e como adsorvente de hidrocarbonetos. O coagulante obtido a partir da semente de MO tem também a capacidade de eliminar microorganismos, diminuindo assim a carga biológica da água tratada. O fato de ser um coagulante natural lhe confere um caráter inofensivo, sem riscos à saúde, não-tóxico e biodegradável; gera um lodo orgânico, fácil de tratar e que pode ser disposto em um aterro sanitário comum (Ndabigengesere et al., 1995; Okuda et al., 2001; Akhtar et al., 2007).

A *Moringa oleífera* é uma árvore de pequeno porte, nativa do Norte da Índia de crescimento rápido, que se adapta a uma ampla faixa de solo e é tolerante à seca. Não há um consenso sobre a fração ativa deste coagulante. Para alguns autores se deve a presença de uma proteína catiônica de alto peso molecular, de 12–14 kDa e ponto isoelétrico (pI) entre 10 e 11, que desestabiliza as partículas contidas na água e floculam os colóides (Ndabigengesere et al., 1995), porém outros mencionam que o componente ativo de uma não é uma proteína, polissacarídeo ou lipídio, mas um polieletrólito com peso molecular de aproximadamente 3 kDa (Okuda et al., 2001a)

Embora alguns pesquisadores estejam dedicando-se ao estudo do uso da semente de MO como coagulante, pouco se sabe sobre seu modo de atuação e seu verdadeiro potencial, havendo, portanto, uma grande carência de estudos no que tange a sua utilização.

O objetivo principal deste trabalho é tratar águas residuárias de laticínios utilizando a semente de *Moringa oleífera* como coagulante/floculante. Os objetivos secundários estão focados em encontrar as melhores condições de operações, buscando simplicidade e eficiência, como tempo e velocidade de coagulação/floculação e a concentração eficiente da semente de MO.

2 - METODOLOGIA

2.1 - Preparo da água residuária de laticínios

Esse trabalho visa estudar a ação coagulante da semente de MO sobre uma água residuária proveniente de um laticínio, visto que este setor produz efluentes com alta carga orgânica. Optou-se, no entanto, por trabalhar com uma solução preparada em laboratório visando à padronização da

água residuária em estudo, pois aquelas obtidas diretamente do laticínio apresentam uma variação muito grande com relação a sua composição, dificultando o desenvolvimento experimental.

Os testes de coagulação/floculação foram preparados por adição de leite em pó em água, em concentrações variadas (0,04 – 1,8g/L), de acordo com o ensaio a ser realizado, caracterizando, assim, a carga orgânica da água residuária. A suspensão foi agitada por alguns minutos até a completa dissolução. A água residuária de estudo era sempre preparada no dia do ensaio e na quantidade desejada.

2.2 - Preparo da semente de *Moringa oleífera* em pó

Sementes de boa qualidade foram separadas daquelas que estavam podres, velhas ou infectadas com doenças. As sementes foram trituradas até formar um pó fino com um processador de alimentos doméstico. O pó, denominado “pó coagulante MO”, foi peneirado para se obter um adsorvente com tamanho de partícula homogêneo e conhecido. Foi utilizado nos ensaios de coagulação/floculação o pó peneirado com tamanho de partícula inferior a 0,42mm.

2.3 - Comparação entre o processo de coagulação usando pó coagulante e a casca da semente de MO

Com o objetivo de avaliar a capacidade de coagulação da casca da semente de MO foi realizado um ensaio comparativo utilizando como coagulantes a casca da semente triturada em processador de alimentos e o pó coagulante MO (descrito previamente). Este ensaio foi realizado em Jar test, com uma etapa de coagulação/floculação realizada a 100rpm por 60min seguido por sedimentação de 60min.

Foi utilizada a água residuária preparada com carga orgânica de 1g/L. A concentração dos agentes coagulantes, casca da semente de MO e pó coagulante, foi de 1g/L.

2.4 - Influência da concentração do pó coagulante MO no tratamento da água residuária de laticínios

Para determinar qual a concentração de pó coagulante que produz uma maior eficiência no tratamento de coagulação/floculação de uma água residuária de laticínios (concentração de 1g leite/L água) foram realizados ensaios em Jar test a 100rpm por 60min, seguido de 60min de decantação. A concentração do pó coagulante MO variou de 0,75-1,25g/L.

2.5 - Determinação da velocidade de agitação durante a etapa de coagulação/floculação

Para a determinação da velocidade de agitação utilizada na etapa de coagulação/floculação foram testadas três velocidades de rotação das pás do Jar test: 50, 100 e 200 rpm. Foi fixado um tempo de 60min para todos os ensaios, seguido por uma sedimentação de 60min.

2.6 - Determinação do tempo de agitação na etapa de coagulação/floculação

Para a determinação do tempo de agitação foram realizados ensaios de coagulação/floculação com velocidade de agitação de 100rpm, por tempos variados de 5 a 60 min. Após cada tempo pré-estabelecido a agitação das pás era desligada e os beakers eram mantidos em repouso por 60min conferindo a etapa de sedimentação.

Nos ensaios de determinação da velocidade e tempo de agitação foi utilizada uma concentração de pó coagulante MO de 1g/L, e para a água residuária a carga orgânica foi de 1g leite/L água.

2.7 - Influência da concentração orgânica sobre o poder de coagulação da MO

Para determinar qual a máxima carga orgânica que se pode tratar com 1g/L de pó coagulante, foram realizados experimentos de coagulação a 100rpm por 60min, seguido por igual período de decantação. A água residuária em estudo foi preparada de modo a se obter concentrações variadas de carga orgânica (0,04 – 1,74g de leite/L água).

Nos ensaios em que o pH não foi objeto de estudo, optou-se pelo não ajuste deste parâmetro, sendo o valor de pH medido para a água residuária da indústria de laticínios de 7,2.

2.8 - Avaliação da influência do pH

Com a finalidade de estipular qual o melhor valor de pH da água residuária para o uso do pó coagulante MO foram realizados ensaios de coagulação em Jar Test a 100rpm e 60min, seguido por 60min de sedimentação. A concentração do pó coagulante MO foi de 1,0g/L. A água residuária em estudo (1g leite/L água) foi ajustada para o pH desejado com 1M de NaOH ou HCl, em uma faixa de pH entre 5 e 10, antes do início do processo de coagulação/floculação.

Em todos os ensaios, após a etapa de sedimentação, uma alíquota de 25mL foi retirada de cada becker para determinação de turbidez, cor e DQO residual. O mesmo teste de coagulação foi conduzido sem adição de nenhum coagulante, representando as condições iniciais da água

residuária, denominado como controle. Foi calculada a redução percentual individual, de cada parâmetro, em função dos valores residuais e de controle.

Cada experimento foi realizado em triplicata para assegurar a reprodutibilidade dos resultados. Todos os dados representam à média de três experimentos independentes junto com o desvio padrão a 95% de confiança. A análise estatística foi realizada usando as funções estatísticas do Microsoft Excel versão Office Xp (Microsoft Cooperation, USA).

2.9 - Métodos analíticos

Todos os métodos analíticos foram realizados de acordo com Standard Methods (APHA, 1995). A medida de turbidez foi realizada utilizando um Turbidímetro (HACH, 2100P). O pH das amostras foi medido usando pH-metro (Digimed DM-2). A medida de cor aparente, determinada em uH (mgPt-Co/L), foi determinada usando HACH DR/2010 - Method 8025.

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

O estudo da semente de MO como coagulante de águas residuárias ainda é recente, principalmente no que se refere a águas residuárias mais específicas como, por exemplo, a da indústria de laticínios. Há, portanto, certa dificuldade com relação à discussão e comparação dos resultados referentes à literatura. Ainda, os trabalhos que apresentam a MO como coagulante de águas residuárias discordam em relação ao tempo de extração do composto ativo, tipo de composto e as variáveis de operação do processo de coagulação. Outro ponto a ser levado em consideração é o fato de que compostos naturais podem apresentar variações na sua composição de acordo com origem geográfica e idade dos frutos, interferindo assim no seu poder coagulante. Todos estes fatores deverão ser considerados no momento de avaliação dos resultados. Na Tabela 1 estão apresentados os valores médios dos parâmetros físico-químicos da água residuária em estudo.

TABELA 1 - Valores médios de cada parâmetro caracterizado para a água residuária de laticínios (1g leite em pó/L água) utilizada neste trabalho.

| Parâmetro | Valores médios |
|---------------------------|----------------|
| Turbidez (NTU) | 856 |
| Cor (uH) | 4006 |
| DQO (mgO ₂ /l) | 1299 |
| pH | 7,2 |

Quando se utiliza a semente de MO como coagulante não se deve esquecer que estamos adicionando uma matéria orgânica à água a ser tratada, e que, portanto, compostos que conferem cor, turbidez e DQO estão presentes. A concentração de 1g/L de pó coagulante MO a uma água de

torneira é capaz de conferir um cor de 228,5uH, uma turbidez de 36,6NTU e 259,2mgO₂/L de DQO.

3.1 - Avaliação comparativa do poder de coagulação/floculação presente na casca e na semente de *Moringa oleífera*

Com a finalidade de buscar a melhor forma de utilizar a semente de MO foi realizado experimento utilizando a semente e a casca triturada da semente.

Os dados obtidos e apresentados na Tabela 2 demonstram que a utilização da casca é ineficiente para o processo de coagulação/floculação. A utilização do pó coagulante, por outro lado foi de elevada eficácia, sendo capaz de remover acima de 97% de cor e turbidez da água residuária em estudo. A utilização do coagulante/floculante natural finamente dividido aumenta a capacidade de exposição dos compostos responsáveis pelo processo de coagulação, como por exemplo, as proteínas contidas na polpa da semente. A casca da semente, não apresenta atividade coagulante significativa, como mencionado por Ndabigengesere et al (1995).

TABELA 2 - Avaliação da capacidade de coagulação/floculação da casca e do pó coagulante da semente de MO para uma água residuária.

| | % Redução | |
|-------------------------------|------------|------------|
| | Turbidez | Cor |
| Casca da semente de MO | 5,51±0,66 | 1,74±0,10 |
| Pó coagulante MO | 99,13±0,07 | 97,27±0,22 |

3.2 - Influência da concentração do pó coagulante MO no tratamento da água residuária de laticínios

A Figura 1 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de variação da concentração do pó coagulante MO em função de cor, turbidez e DQO residual. Tanto para os valores residuais de DQO como para a cor observa-se que há uma concentração ótima de pó coagulante a ser adicionado para o tratamento da água residuária. Para concentrações inferiores a 1g/L, a cor residual permanece ainda elevada, e para concentrações de pó coagulante MO maiores que 1g/L o efeito coagulante da moringa é reduzido.

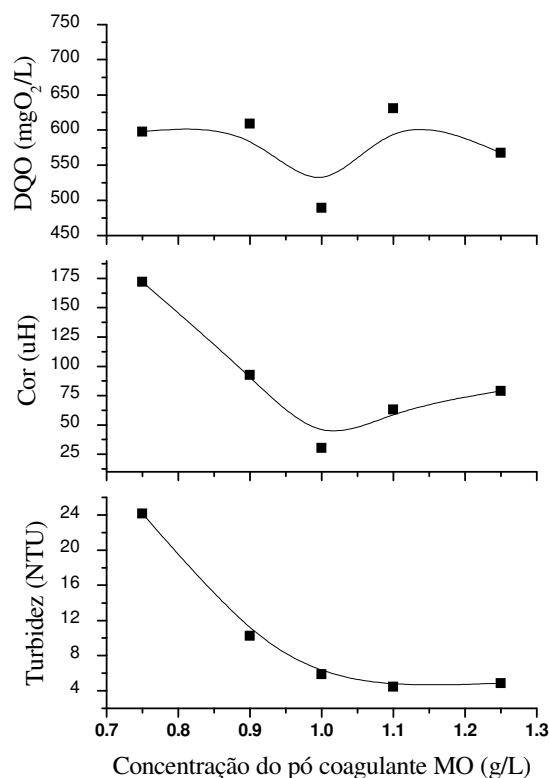


FIGURA 1 – Variação de concentração do pó coagulante MO em função da redução de cor, turbidez e DQO da água residuária de laticínios.

Com relação à turbidez residual, é possível observar claramente que a concentração de pó coagulante MO de 1g/l é a mais eficiente, sendo que a partir desta concentração não há nenhum ganho na eficiência do processo para este parâmetro.

Após verificar que as maiores eficiências do processo de coagulação/floculação para tratar a água residuária na concentração de 1g leite/L água são obtidas com a utilização de 1g/L de pó coagulante, optou-se por se utilizar esta concentração de coagulante nos demais experimentos.

3.3 - Influência da velocidade de agitação

A variação na velocidade de agitação, medida como velocidade de rotação das pás do Jar Test, foi realizada com o objetivo de se definir qual a velocidade que produziria uma maior eficiência na remoção de cor, turbidez e DQO. A concentração da água residuária e do pó coagulante MO foi mantida em 1g/L. Os resultados desta avaliação, em termos de valores residuais, estão apresentados na Figura 2.

Foi escolhido um tempo de sedimentação de 60min, para todos os ensaios, por ser suficiente para a total decantação dos flocos formados na etapa de coagulação/floculação, não sendo assim, necessária uma etapa adicional de filtração para a retenção destes flocos.

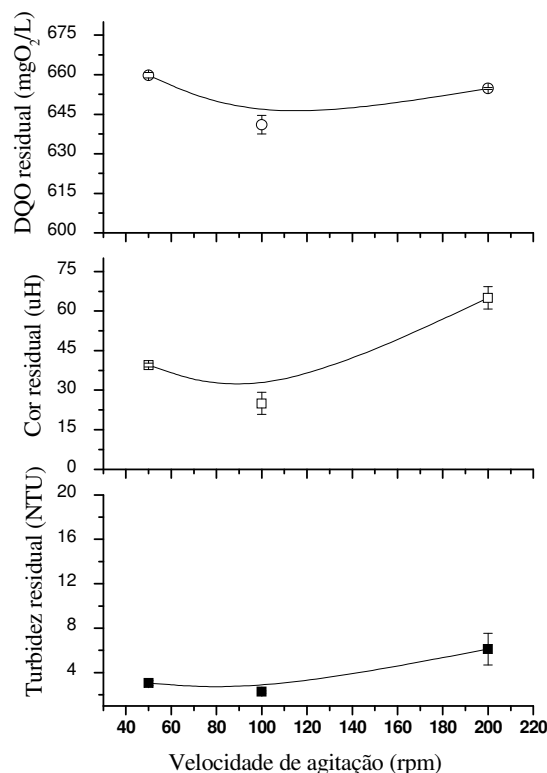


FIGURA 2 – Influência da velocidade de agitação durante a etapa de coagulação/floculação utilizando o pó coagulante MO.

Observa-se que quando se conduz o processo de coagulação a uma velocidade elevada como 200rpm, os valores residuais de turbidez, cor e DQO são os mais elevados, possivelmente por uma desintegração dos flocos formados.

A velocidade de 50rpm apresentou valores de cor, turbidez e DQO residuais ligeiramente superiores àqueles alcançados ao se utilizar a velocidade de agitação de 100rpm. Provavelmente esta velocidade não foi suficiente para a completa aproximação dos compostos ao coagulante, dificultando um pouco a formação dos flocos.

A velocidade de 100rpm, no entanto, foi a que apresentou melhores resultados com relação aos valores residuais de cor, turbidez e DQO ao final do processo de coagulação/floculação e decantação, sendo, portanto, utilizada como velocidade padrão para os demais experimentos.

3.4 - Variação do tempo de agitação durante a etapa de coagulação/floculação.

A Figura 3 apresenta os resultados obtidos, DQO, cor e turbidez residual, a partir dos ensaios realizados para determinação do tempo de coagulação/floculação.

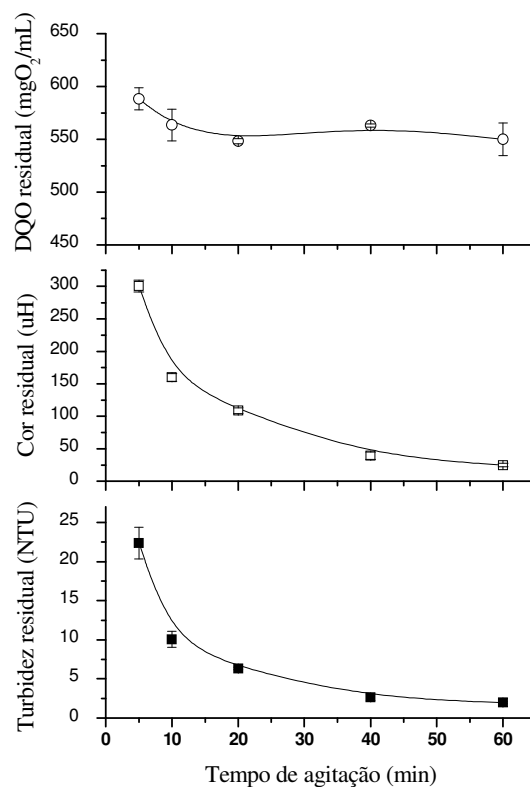


FIGURA 3 – Influência do tempo de agitação durante a etapa de coagulação/floculação utilizando o pó coagulante MO

O tempo de agitação tem grande influência na qualidade da água obtida ao final do processo, principalmente quando se observa os valores residuais de cor e turbidez. Para a retirada da matéria orgânica, a diferença no tempo de agitação praticamente não apresentou influência no valor final da DQO medida, permanecendo aproximadamente o mesmo valor de 550mgO₂/L a partir de 20min de agitação, representando uma redução de 57%. Com relação à cor e turbidez observa-se que ao permanecer em agitação por 60min, a solução obtida apresenta percentuais de remoção de 99,32 e 99,77%, respectivamente para cor e turbidez. Isto, em termos absolutos representa valores médios de cor e turbidez de 25(uH) e 1,96NTU.

3.5 - Influência da carga orgânica sobre o potencial de coagulação da MO.

As Figuras 4 e 5 apresentam os valores de turbidez e cor residual, respectivamente, para águas residuárias preparadas com 1g/L de pó coagulante. Verificou-se que uma concentração de pó coagulante de 1g/L é suficiente para tratar água residuária de laticínios com uma carga orgânica de no máximo 1g/L. A partir deste ponto, ou seja, para águas residuárias mais contaminadas, uma dosagem maior de pó coagulante seria necessária.

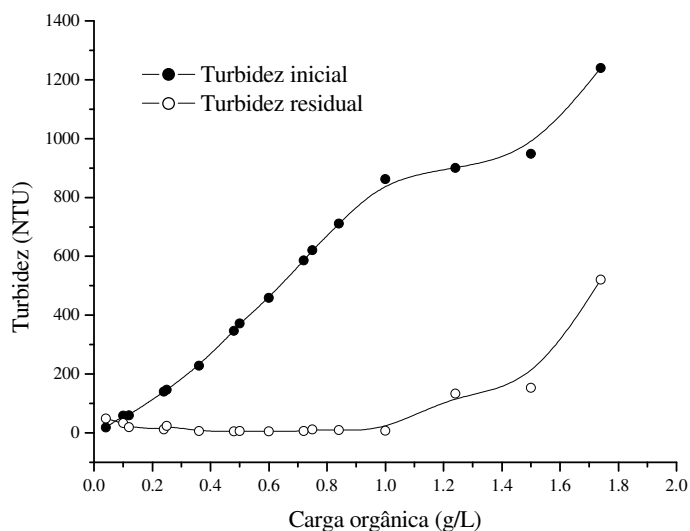


FIGURA 4 - Efeito da carga orgânica sobre o potencial de redução de turbidez do coagulante MO.

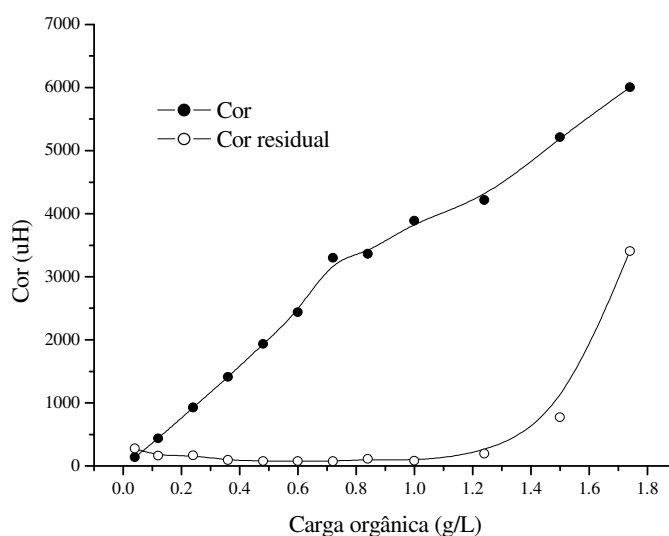


FIGURA 5 - Efeito da carga orgânica sobre o potencial de redução de cor do coagulante MO.

A concentração da carga orgânica da água residuária a ser tratada com o coagulante MO é muito importante no resultado final obtido. Observa-se por meio das Figuras 3 e 4 que a partir de 1g/L o potencial de coagulação da *Moringa oleífera* é profundamente afetado, e o efeito de adição de uma matéria orgânica (semente) sobrepõe o efeito do poder coagulante, diminuindo assim a eficiência do processo.

3.6 - Influência na variação do pH

Visando a aplicação do processo de coagulação utilizando o pó coagulante MO para o tratamento da água residuária da indústria de laticínios, foi realizado um ensaio para verificar qual a influência do pH no poder de coagulação. Os resultados obtidos encontram-se na Figura 6.

Para a faixa pH entre 5 e 8 o percentual de redução de turbidez e cor ficou de 98 e 95%, respectivamente. O percentual de redução de DQO aumentou com o aumento de pH, sendo de 37% no pH 5 e de 50 % no pH 8, diminuindo para valores de pH mais elevados. Observa-se que não há uma variação significativa no percentual de redução tanto de cor como de turbidez para a faixa de pH de 5 a 8. Quando o pH foi elevado para 9 o poder de coagulação da semente foi afetado, diminuindo o percentual de redução de turbidez, cor e DQO para 43, 13 e 31% respectivamente.

O ensaio realizado com a água residuária em pH 10 não apresentou qualquer variação nos parâmetros cor, turbidez e DQO, após a coagulação, mostrando que neste pH a semente perde completamente o seu poder de coagulação.

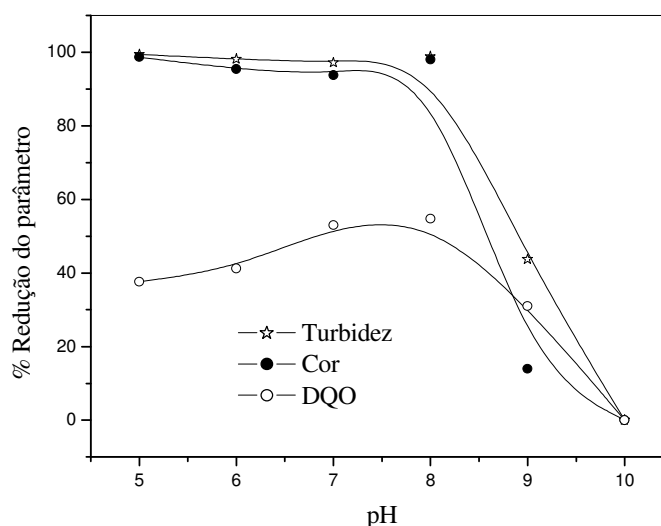


FIGURA 6 - Influência da variação do pH sobre o percentual de redução na cor, turbidez e DQO da água residuária tratada com pó coagulante MO (1g/L). Condição de operação: coagulação por 60min à 100rpm e 60min de sedimentação.

Segundo a literatura (Ndabigengesere et al., 1995; Gassenschmidt et al., 1995) o pI da proteína presente na semente de MO, provável responsável pelo poder de coagulação, situa-se entre 10 e 11. Neste ponto deverá ocorrer uma diminuição da solubilidade da proteína, o que pode ser responsável pela diminuição da eficiência de coagulação quando se está trabalhando em pH 10.

Os resultados obtidos mostram que a semente de moringa mantém seu poder de coagulação sobre uma ampla faixa de pH (5-8). Como a água residuária da indústria de laticínios apresenta um pH de aproximadamente 7,2, não seria necessário o ajuste do pH para um eficiente processo de

coagulação. Sem dúvida, a eliminação desta etapa de ajuste de pH para um processo de coagulação em maior escala é favorável, uma vez que simplifica o processo e reduz custos.

As sementes de MO não alteraram significativamente o pH e a alcalinidade da água após o tratamento esse fato evitaria problemas de corrosão para as tubulações.

Para o seguimento industrial de laticínios, o resfriamento sem contato é responsável por 53% do consumo de água, ficando 27% destinado a processos e atividades afins e 19% para uso sanitário e outros (ANA, 2004). A Tabela 3 apresenta o padrão de qualidade recomendado para água de resfriamento, lavagem de pisos e irrigação, e descarga sanitária em comparação aos resultados alcançados

TABELA 3 – Comparativo entre o padrão de qualidade recomendado e os valores obtidos no processo de coagulação/floculação.

| Parâmetro | Águas de resfriamento | Lavagem de pisos e irrigação | Descarga sanitária | Valores encontrados neste trabalho * |
|-----------|-----------------------|------------------------------|----------------------|--------------------------------------|
| pH | 6,9 a 9,0 | 6 - 9 ⁽²⁾ | 6 - 9 ⁽²⁾ | 7,2 ± 0,1 |
| DQO | 75 | ≤ 25 ⁽³⁾ | ≤ 75 ⁽³⁾ | 550,00 ± 15,56 |
| Turbidez | 50 | < 5 ⁽¹⁾ | < 10 ⁽¹⁾ | 1,96 ± 0,12 |
| Cor | SE | ≤ 15 ⁽⁴⁾ | ≤ 15 ⁽⁴⁾ | 25,00 ± 2,65 |

Fonte: Crook, 1996 in ANA, 2004

⁽¹⁾ Fonte: Hespanhol et al., 2007

⁽²⁾ Fonte: US EPA (2004) in Junior & Pawlowsky, 2007

⁽³⁾ Fonte: Considerando o valor da DQO 2,5 vezes maior que a DBO

⁽⁴⁾ Fonte: Valor máximo recomendado para água potável, de acordo com a Portaria do Ministério da Saúde nº 518 de 25/03/2004

SE - Sem Especificação encontrada

* Condições da água residuária e processo de coagulação/floculação: concentração inicial da carga orgânica - 1g/L; concentração de pó coagulante MO – 1g/L; Condições de operação do Jar test: coagulação/floculação - 60min a 100rpm, seguido por 60min de sedimentação.

Os resultados apresentados na Tabela 3 demonstram que somente com as etapas de coagulação/floculação e decantação, sem nenhum tipo de filtração, o tratamento da água residuária de laticínios (carga orgânica de 1g/L) com o coagulante MO os parâmetros de pH e turbidez estão dentro do estabelecido para o reuso. Entretanto, quanto à remoção de cor e DQO, verifica-se que o processo é eficiente, entretanto fora dos valores estabelecido como padrão para reuso na indústria de laticínios.

A principal característica das águas residuárias de laticínios é a grande carga orgânica presente, devido principalmente a lavagens de equipamentos e quebra de embalagens, o que dificulta o seu tratamento.

Mecanismos de adsorção dos compostos presentes em uma água residuária de laticínios, tais como proteína, lipídeos e carboidrato ao pó coagulante MO podem auxiliar e favorecer a etapa de coagulação/floculação. Isto explicaria porque mesmo após a adição de matéria orgânica (pó coagulante MO) há uma redução de mais de 95% de compostos que conferem cor e turbidez, e de aproximadamente 53-57% de DQO às águas residuárias tratadas. Brião e Tavares (2007) alcançaram uma redução de DQO de 74% para o efluente de laticínios, utilizando processo de ultrafiltração.

Por se tratar de um processo simples a coagulação/floculação com MO para remoção de turbidez, cor e DQO, quando comparado com outros processos apresenta boa eficiência além das vantagens de ser um tratamento de baixo custo e obter um lodo biodegradável. Entretanto, para aumentar a eficiência será necessário avaliar o uso de uma etapa de tratamento em seqüência ao tanque de sedimentação.

4 - CONCLUSÕES

As principais conclusões obtidas com o presente trabalho foram:

- A máxima eficiência no tratamento de uma água residuária de laticínios (1g leite/L água) a concentração de pó coagulante deve ser de 1g/L;
- A etapa de coagulação/floculação deve ser realizada a 100rpm por 60min;
- Para uma concentração de pó coagulante MO de 1g/L a carga orgânica para a qual se obtém maior eficiência em termos de cor, turbidez e DQO residual é de 1g/l;
- Não há necessidade de ajuste de pH quando se utiliza o pó coagulante MO. Não houve uma variação significativa no percentual de redução tanto de cor como de turbidez para a faixa de pH de 5 a 8.

Conclui-se é que a semente de MO tem um grande potencial para o tratamento de águas residuárias, chegando a valores muito próximos aqueles desejáveis para o seu reaproveitamento dentro da própria indústria, principalmente no que se refere a parâmetros como pH, cor e turbidez.

Estudos de aprimoramento do uso da semente de moringa estão sendo realizados, no intuito de buscar condições para as quais sejam satisfeitas completamente os padrões de reuso das águas residuárias.

Agradecimentos:

Os autores agradecem ao apoio financeiro concedido pelo CNPq.

5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akhtar, M.; Moosa Hasany, S.; Bhangar, M. I.; Shahid Iqbal, Sorption potential of *Moringa oleifera* pods for the removal of organic pollutants from aqueous solutions, *Journal Hazardous Materials*, v. 141, n. 3, p. 546-556, 22 Março 2007.
- ANA, FIESP, SindusCon-SP, COMASP, Conservação e reuso de água em edificações. São Paulo, 2005. Hespanhol, I.; Gonçalves, O.M. (Coordenadores), Conservação e Reúso de Água – Manual de Orientações para o setor industrial – Volume 1. Organização FIESP/CIESP. São Paulo, 2004.
- APHA – American Public Health Association, 1995, Standard Methods for the Examination for Water and Wastewater. 19th ed., Washington, D.C.
- Braga, B.; Hespanhol, I.; Conejo, J. G. L.; Barros, M. T. L.; Spencer, M.; Porto, M.; Nucci, N.; Juliano, N.; Eiger, S., Introdução à Engenharia Ambiental, Pearson – Prentice Hall, São Paulo, 2004.
- Brião, V. B.; Tavares, C. R. G., Ultrafiltration as treatment process for reuse of dairy effluent, *Eng. Sanit. Ambient.* v. 12 - n° 2, 134-138, 2007.
- Clayton, B, E. Report of the lower moor incident advisory group, *Journal Ind. Med.* v. 40, n. 3, p. 301-304, 1989.
- Gassenschmidt, U.; Jany, K. D.; Bernhard, T.; Niebergall, H., Isolation and characterization of a flocculating protein from *Moringa oleifera* Lam, *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - General Subjects*, v. 1243, n. 3, 13, p. 477-481, April 1995.
- Hespanhol, I.; Mierzwa, J. C.; Rodrigues, L.B.; Silva, M. C. C., Manual de Conservação e Reúso da Água na Indústria, Sistema FIRJAN, Março 2007.
- Katayon, S.; Noor, M.J. M. M.; Asma, M.; Ghani, L.A. A.; Thamer, A.M.; I. Azni; Ahmad, J.; Khor, B.C.; Suleyman, A.M., Effects of storage conditions of *Moringa oleifera* seeds on its performance in coagulation, *Bioresource Technology*, v. 97, n. 13 , p. 1455-1460, September 2006.
- Matos, A. T., Tratamento de resíduos agroindustriais in [www.ufv.br / dec / simea / apresentacoes / Curso Matos FEAM2005.pdf](http://www.ufv.br/dec/simea/apresentacoes/Curso%20Matos%20FEAM2005.pdf), 20/08/2007.
- Ndabigengesere A., Subba Narasiah, K.; Talbot, B. G., Active agents and mechanism of coagulation of turbid waters using *Moringa oleifera*. *Water Research*, v. 29, n. 2, p. 703-710, 1995.
- Ndabigengesere, A.; Subba Narasiah, K., Quality of water treated by coagulation using *Moringa oleifera* seeds, *Water Research*, v. 32, n. 3, p 781-791, March 1998.

- Oenning Junior, A.; Pawlowsky, U., Avaliação de tecnologias avançadas para o reúso de água em indústria metal-mecânica, Eng. Sanit. Ambient. v.12, n 3, 305-316, Jul/Set 2007.
- Okuda, T.; Baes, A. U.; Nishijima, W.; Okada, M., Coagulation Mechanism of Salt Solution-Extracted Active Component in *Moringa oleífera* Seeds, Water Research, v. 35, n. 3, 830-834, February 2001.^a
- Okuda, T.; Baes, A. U.; Nishijima, W.; Okada, M., Improvement of extraction method of coagulation active components from *Moringa oleífera* seed, Wat. Res., v. 33, n. 15, p. 3373-3378, 1999.
- Okuda, T.; Baes, A. U.; Nishijima, W.; Okada, M., Isolation and characterization of coagulant extracted from *Moringa oleífera* seed by salt solution, Water Research, v. 35, n. 2, p. 405-410, February 2001.