

Uso de sementes de Moringa Oleífera (LAM) no tratamento de efluente têxtil



Marise Cotta Machado ^[1]; Reinaldo Romero Vargas ^[2]; Maria Aparecida da Silva ^[3]; Thiago Engels ^[4]

[1] marise.cmachado@gmail.com, [2] rvargas@prof.ung.br, [3] arima.maria989@gmail.com; [4] thiagoengels@hotmail.com. Programa de Pós-Graduação em Análise Geoambiental. Universidade Guarulhos / UnG.

RESUMO

O extrato de sementes de Moringa Oleífera vem sendo estudado como agente coagulante alternativo aos agentes químicos comumente utilizados, com o objetivo de minimizar custos, além de reduzir os impactos ambientais decorrentes dos processos tradicionais de tratamento de águas residuárias. O presente trabalho estudou o desempenho do extrato aquoso da semente da Moringa Oleífera na remoção de quatro diferentes tipos de corantes têxteis, classificados como dispersos, ácidos, básicos e reativos. Estudos com soluções aquosa e salina foram realizados, objetivando-se melhorar o desempenho na remoção destes corantes têxteis, além de avaliar a estabilidade quanto ao tempo de estocagem do extrato da Moringa. Os estudos foram realizados por intermédio de análises espectrofotométricas, por meio das curvas de calibração, dos corantes têxteis em meio aquoso. Os resultados obtidos mostraram que o extrato da semente da Moringa Oleífera foi bastante eficiente na remoção dos corantes têxteis, exceto para o tipo catiônico. Em relação ao comportamento dos corantes têxteis em solução aquosa e do extrato salino, não foram encontradas diferenças significativas em termos de remoção. Outro resultado promissor foi obtido na avaliação da atividade coagulante do extrato por até três dias de armazenagem à temperatura ambiente. Este fato é importante sob o aspecto operacional decorrente do uso do extrato em larga escala, pois possibilita o preparo de uma quantidade maior, sem perda da atividade coagulante, viabilizando a utilização deste insumo.

Palavras-chave: Moringa Oleífera (Lam). Efluente têxtil. Qualidade de água. Biorremediação.

ABSTRACT

The seed extracts of Moringa oleifera has been studied as alternative coagulating agent to chemicals commonly used in order to minimize costs while reducing environmental impacts and human health arising from traditional processes of wastewater treatment. This work studied the performance of the aqueous extract of Moringa oleifera seed in the removal of four different types of textile dyes classified as dispersed, acidic, basic and reactive. Studies with aqueous and saline solutions were performed aiming to improve performance in the removal of textile dyes, and stability testing on the storage time of the extract of Moringa oleifera. Studies were performed using spectrophotometric analysis by means of calibration curves of textile dyes in an aqueous medium. The results showed that the seed extract of Moringa oleifera was quite efficient in the removal of textile dyes, except for the cationic type. Regarding the behavior of textile dyes in aqueous solution and the saline extract were not found significant differences in terms of removal. Other promising results were obtained to evaluate coagulant activity of the extract up to three days storage at room temperature. This fact is important from the operational aspect arising from the use of the extract on a large scale: the possibility to prepare a larger amount of extract, without loss of coagulant activity may enable the utilization of this resource.

Keywords: Moringa Oleifera (Lam). Textile effluent. Water quality. Bioremediation.

1 Introdução

O tratamento de efluentes industriais e domésticos é atualmente um dos grandes desafios da sociedade moderna, principalmente por estarem, esses efluentes, relacionados com um dos recursos naturais mais importantes para a sobrevivência do planeta, a água. A escassez desse recurso é um dos problemas mais sombrios previstos para o futuro, sendo primordial a busca por soluções que o minimizem ou o adiem. O tratamento de águas residuárias é uma prática fundamental no controle da contaminação dos recursos hídricos, principalmente nas grandes regiões metropolitanas (TUNDISI, 2003).

O consumo de águas naturais contaminadas é realidade em diversas localidades brasileiras, fato que não se restringe somente às áreas urbanas mas também ocorre em comunidades rurais. Segundo Ramos (2005), muitos dos mananciais localizados em zonas rurais estão contaminados com esgotos e não apresentam os níveis aceitáveis para muitos de seus usos previstos. Outro agravante é que nesses locais não há sistemas de distribuição e nem informações que visem preservar ou modificar as condições do meio ambiente, com a finalidade de prevenir doenças e promover a saúde. Nas zonas rurais e ou periferias, o abastecimento de água se dá por meio de poços escavados ou perfurados, além da captação e armazenagem de água da chuva. A qualidade destas águas dependerá, entretanto, de sua origem e de seu histórico. As condições climáticas, geográficas e geológicas também desempenham importante papel na determinação da qualidade da água e, sendo assim, muitas fontes de captação destas águas podem estar contaminadas (RAMOS, 2005).

Estes fatos mostram que existe a necessidade de tratamento da água tanto nas áreas mais desenvolvidas do país – esta resultante do grande volume de residual gerado nos processos produtivos – como em áreas de comunidades, onde o tratamento em questão objetiva adequar sua qualidade para consumo humano, já que, na maioria das vezes, a água é oriunda de fontes não tratadas. Existem diversas alternativas tecnológicas para tratamento e purificação de água. Essas alternativas dizem respeito à utilização de modernos sistemas, os quais, no entanto, apresentam pontos negativos, pois, além do custo elevado de implantação, apresentam outros fatores indesejáveis, como alterações nos efluentes tratados quimicamente e grande volume de resíduos

gerado nos processos. Além disso, nem sempre os parâmetros de qualidade exigidos na regulamentação para a disposição de águas residuárias são atingidos (BICUDO; TUNDISI; SCHEUEWSTUHL, 2010).

As indústrias têxteis são um dos maiores usuários de água e produtos químicos complexos durante o processamento têxtil em seus vários estágios (KUNZ *et al.*, 2002). Os materiais não utilizados nesse processamento são descarregados como águas residuais ricas em cor, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), turbidez, demanda química de oxigênio (DQO), pH, temperatura e produtos químicos tóxicos. A descarga direta de águas residuais desses efluentes em corpos d'água, como lagos e rios, polui a água, afetando a flora e a fauna. Efluentes de indústrias têxteis contêm diferentes tipos de corantes, os quais, por causa do elevado peso molecular e de suas complexas estruturas, mostram biodegradabilidade muito baixa (GAO *et al.*, 2007).

Devido a estes problemas ambientais, novas tecnologias de tratamento de efluentes têxteis têm sido intensamente estudadas. Existe um grande número de métodos convencionais empregados na descoloração de tais efluentes, envolvendo processos físico-químicos, processos químicos e biológicos, assim como há, também, algumas técnicas emergentes, tais como os processos oxidativos avançados (KUNZ *et al.*, 2002). Bhunia, Verma e Dash (2012) revisaram as tecnologias de floculação e coagulação química para a remoção de cor em efluentes têxteis. Um dos pontos destacados pelos autores é quanto ao fato de não existir um único método econômica e tecnicamente viável para resolver tal problema. Assim, geralmente, dois ou três métodos têm de ser combinados a fim de se atingir um nível adequado de remoção de cor. A eficiência dos principais coagulantes/floculantes orgânicos, denominados polieletrólitos, usados no tratamento de efluentes, foi discutida – entre estes coagulantes/floculantes naturais destaca-se a semente da Moringa Oleífera (BOLTO, GREGORY, 2007; KANSAL, KUMARI, 2014). A viabilidade do seu uso tem sido reconhecida tanto no segmento de efluentes industriais como no tratamento de águas de uso doméstico. Diversos foram os estudos sobre a aplicação da semente da Moringa Oleífera no tratamento de efluentes. Silva *et al.* (2001) utilizaram extrato de Moringa na remoção da cor de efluente têxtil, visando à remoção de cor e turbidez. Comparando o coagulante natural com aqueles mais largamente utilizados (sulfato de alumínio e cloreto de ferro III), em amostras

coletadas antes e depois do tratamento convencional, os resultados mostraram que a semente da Moringa apresentou os maiores valores de remoção – em torno de 90% no efluente bruto contra 70% no efluente tratado convencionalmente. Os autores concluíram que coagulantes naturais são mais eficientes, além de ecologicamente mais compatíveis. Santos *et al.* (2007), por sua vez, também comparando o extrato de sementes de Moringa com os coagulantes tradicionais, obtiveram 80% de remoção de turbidez e salientaram que, além dos resultados positivos, não houve alteração do pH no efluente tratado, além de não haver gerado um grande volume de lodo no processo. Estes resultados reforçam aqueles apresentados por Ndabigengesere, Narasiah e Talbot (1995), os quais demonstraram que o extrato da semente da Moringa não afetou o pH e a condutividade elétrica da água após o tratamento, e o lodo produzido na coagulação, além de inócuo, apresentou volume de 4 a 5 vezes menor que o lodo obtido no tratamento com alumínio. De um modo geral, o extrato utilizado é um produto simples, obtido pela diluição do pó de sementes moídas em água. Segundo Silva e Matos (2008), apesar de vários estudos científicos a respeito da capacidade coagulante da Moringa, a sua utilização efetiva, como nas áreas rurais do Sudão, ainda se caracteriza pela simplicidade e rusticidade.

Um extenso estudo sobre os agentes ativos e o mecanismo de coagulação de Moringa Oleífera foi conduzido por Ndabigengesere, Narasiah e Talbot (1995), em que foram avaliadas as propriedades coagulantes de diversas partes da planta. Desses estudos concluiu-se que apenas as sementes apresentavam atividade coagulante. Trabalhando também com diferentes solventes na extração, os resultados mostraram que apenas o extrato aquoso apresentou atividade coagulante. Os autores relacionam a ação coagulante da Moringa com a presença de proteínas catiônicas hidrossolúveis presentes nas sementes. Vários trabalhos descrevem que o componente ativo do coagulante tem origem proteica com uma carga líquida positiva, como uma proteína dimérica catiônica com massa molecular de 12-14 kDa e ponto isoelétrico entre 10 e 11 (NDABIGENGESERE; NARASIAH; TALBOT, 1995). Outros trabalhos relatam uma massa molecular de 6,5 kDa e ponto isoelétrico maior do que 10 (GASSENSCHMIDT *et al.*, 1995). Okuda *et al.* (2001), no entanto, relataram que o coagulante ativo, obtido a partir de uma extração aquosa salina, não era uma proteína, polissacarídeo ou lipídio, mas um

polieletrólito orgânico de massa molecular de aproximadamente 3,0 kDa. Ghebremichael *et al.* (2005) extraíram e purificaram da semente da Moringa uma proteína catiônica com ponto isoelétrico maior que 9,6 e massa molecular menor que 6,5 kDa. Análises de espectrometria de massa do material extraído indicaram a presença de quatro proteínas homólogas. A proteína mostrou-se termorresistente, mantendo-se ativa mesmo após 5h de aquecimento a 95°C. Gallão *et al.* (2006) analisaram a composição da semente da Moringa Oleífera e constataram um teor aproximado de 40% de proteína, 20% de lipídios e o restante do material constituído de umidade, açúcares, oligossacarídeos e amido.

Beltrán-Heredia *et al.* (2009) avaliaram a capacidade da semente da Moringa Oleífera e outro coagulante natural à base de tanino, denominado ACQUA-POL C-1, na remoção de um corante têxtil derivado de antraquinona. Foram avaliados parâmetros como pH, temperatura e concentração inicial do corante. Os resultados mostraram que, em pH maiores, o processo de remoção fica prejudicado, especialmente no derivado à base de tanino. A temperatura não afetou a capacidade de remoção dos coagulantes e a remoção foi maior na situação que apresenta concentração inicial maior de corantes. O desempenho da semente da Moringa foi mais eficiente na remoção de vários corantes têxteis quando comparado com o derivado de tanino.

Com relação ao mecanismo de coagulação e floculação, atribuem-se a adsorção e a neutralização de cargas como os principais mecanismos de coagulação, devido à ação da Moringa. Estes fatos são condizentes com os observados por Gassenschmidt *et al.* (1995), que isolaram a proteína coagulante da Moringa. Para estes autores, o baixo peso molecular e a alta densidade de carga são características da proteína que ajudam a explicar a sua atividade coagulante.

No intuito de aprimorar a ação coagulante e minimizar consequências negativas da utilização da Moringa, como aumento da carga orgânica após o tratamento e dificuldades de padronização de dosagens, diversas linhas de investigação buscaram a otimização no uso do extrato aquoso tradicional bem como na purificação e isolamento das proteínas ativas. Ndabigengesere *et al.* (1995) sugeriram que o aumento da solubilidade do coagulante seria possível por meio do aumento da salinidade durante o processo de extração. Okuda *et al.* (1999), por sua vez,

desenvolveram um método de extração do componente coagulante da Moringa, em relação ao método de extração simples em água, utilizando uma solução 1,0 mol.L⁻¹ de cloreto de sódio (NaCl), entre outros sais. Como resultado, a solução salina obteve melhor atividade coagulante em dosagens bem menores que o extrato aquoso simples.

Estudando a qualidade da água tratada com o extrato da semente da Moringa, Ndabigengesere e Narasiah (1998) observaram um aumento considerável na concentração de matéria orgânica com o aumento da dosagem do extrato de Moringa. Devido a este fato, os autores recomendam a purificação da proteína ativa da semente de Moringa. Buscando caracterizar as dispersões de Moringa utilizadas no tratamento de água, Silva e Matos (2008) padronizaram a dosagem utilizada (20 g.L⁻¹), mas variaram as características do pó da semente. Os autores trabalharam com sementes com e sem casca bem como sementes submetidas à extração do conteúdo de óleo. Os resultados obtidos sugerem que a extração do conteúdo oleico pode contribuir para uma maior sedimentação, fato evidenciado pela maior remoção da turbidez das amostras analisadas. Beltrán-Heredia *et al.* (2012) estudaram a remoção de corantes têxteis de efluentes, em especial o corante vermelho ácido 88 (*Acid Red 88*), usando o extrato da Moringa Oleífera purificada e não purificada, com o objetivo de

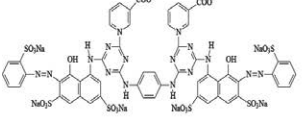
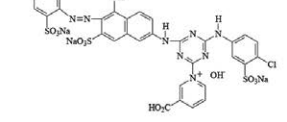
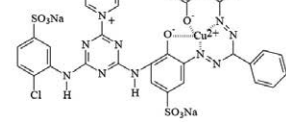
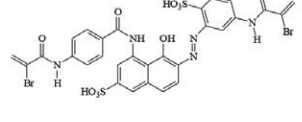
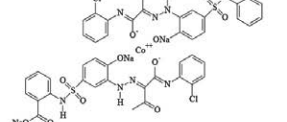
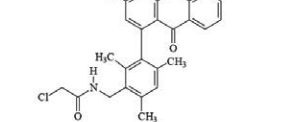
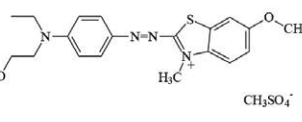
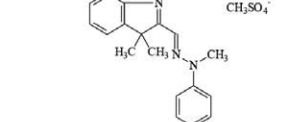
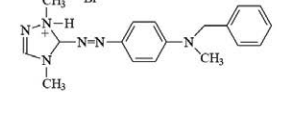
encontrar a dosagem adequada do extrato purificado sem aumentar o teor de carbono orgânico total no efluente tratado. Após ensaios com o extrato da Moringa purificada, os autores concluíram que um sistema corante-coagulante adequado foi de 1,0 mg de extrato para cada 1,2 mg de corante no efluente. Segundo os autores, esta razão não aumentou o teor de carbono orgânico total no efluente tratado dentro de uma faixa de pH de 4 a 9.

Este presente trabalho avaliou o potencial da utilização de sementes de Moringa Oleífera como agente coagulante na clarificação de efluente da indústria têxtil, empregando-se diferentes corantes têxteis dos tipos: dispersos, reativos, básicos e ácidos. Condições como a concentração adequada do extrato, tipo de solução aquosa e salina bem como a sua estabilidade também foram avaliadas.

2 Materiais e métodos

Os corantes utilizados neste estudo foram classificados de acordo com o método de aplicação, sendo representados na forma de quatro grupos: os corantes dispersos, reativos, básicos e ácidos (GUARATINI, ZANONI, 2000; IQBAL, 2008). No Quadro 1 estão apresentadas as fórmulas estruturais, tipos e nomes de registro no Color Index dos corantes utilizados neste estudo.

Quadro 1– Corantes têxteis, nome comercial, nome no Color Index e classificação

<p>Vermelho Kayacelon react CN 3B. Reactive red 221 (CI) Corante reativo</p> 	<p>Amarelo Kayacelon react CN GL. Reactive Red 236. Corante reativo</p> 	<p>Azul kayacelon react CN BL. Corante reativo</p> 
<p>Vermelho Lanaset G. Reactive red 83. Corante ácido (reativo)</p> 	<p>Amarelo Lanaset 2R. Acid Yellow 220. Corante ácido</p> 	<p>Marinho Lanaset R. Corante ácido</p> 
<p>Azul Maxilon GRL. Maxilon Bue GRL. Basic blue 60. Corante básico (catiônico)</p> 	<p>Amarelo Maxilon 4GL. Maxilon Yellow 4GL. Basic Yellow 51. Corante básico catiônico</p> 	<p>Vermelho Maxilon GRL. Basic red 46. Corante básico catiônico</p> 
<p>Não foram encontradas as fórmulas estruturais dos corantes Amarelo Dianix S 6G, Corante disperso; Vermelho Dianix S 2B. Disperse red. Corante disperso.</p>		

Fonte: Elaborado pelo autor.

As soluções de corantes têxteis foram preparadas a partir de amostras-padrão e analisadas usando-se um espectrofotômetro visível *Spectronic* (350-960 nm). As curvas de calibração dos corantes têxteis foram determinadas no intervalo de concentração de 5 a 100 mg.L⁻¹, com leituras a 100, 50, 20, 10 e 5 mg.L⁻¹. Os coeficientes de correlação para as curvas de calibração realizadas para todos os corantes foram superiores a 99%.

Devido ao fato de não existir a padronização do extrato da Moringa, procedeu-se a testes preliminares para a obtenção da dosagem ideal e, juntamente com as referências consultadas, optou-se por um extrato com as seguintes características: extrato aquoso 25% p/V, com dosagem de 50 mL.L⁻¹ (NDABIGENSERE, NARASIAH, TALBOT, 1995; OKUDA *et al.*, 1999; SILVA *et al.*, 2001; BHATIA, OTHMAN, AHMAD, 2007; BHUPTAWAT, FOLKARD, CHAUDHARIS, 2007; SANTOS, RABELO, SCRHANK, 2007; SILVA, MATOS, 2008).

As sementes foram moídas em moedor de café, para obtenção de um pó de granulometria fina; em seguida, preparou-se o extrato, com 20 min de agitação em liquidificador seguida de filtração a vácuo.

O extrato aquoso foi preparado com água deionizada e o extrato salino com solução de NaCl 1,0 mol.L⁻¹ – a escolha do sal teve por base a literatura consultada, que não apontava diferenças significativas entre diversos sais testados para a mesma finalidade (NDABIGENGESERE; NARASIAH; TALBOT, 1995).

Os ensaios de remoção do corante foram realizados em triplicata, com agitação de 150 rpm por 10 minutos, e, posteriormente, com agitação de 20 rpm por 30 minutos em um aparelho de *Jar Test*. O tempo de espera para coleta das alíquotas foi variado de acordo com cada experimento.

3 Resultados e discussão

Devido ao fato de não existir a padronização do extrato de Moringa, procedeu-se a testes preliminares para a obtenção da dosagem ideal, com base nas referências bibliográficas (CARVALHO, 2005; KATAYON *et al.*, 2006; BHATIA, OTHMAN, AHMAD, 2007; BHUPTAWAT, FOLKARD, CHAUDHARIS, 2007; SANTOS, RABELO, SCRHANK, 2007; SILVA, MATOS, 2008). Devido ao bom desempenho observado no extrato aquoso, a 25% p/V e dosagem de 50 mL.L, reduziu-se a proporção de sementes nos extratos utilizados nas baterias de testes subsequentes, optando-se por extratos com as seguintes características:

- Extrato aquoso, 20% p/v; Dosagens: 50 mL.L⁻¹ e 25 mL.L⁻¹;
- Extrato salino, 20% p/v; Dosagens: 50 mL.L⁻¹ e 25 mL.L⁻¹.

As sementes da Moringa Oleífera bem como o aspecto da solução do extrato da Moringa após a filtração estão ilustradas na Figura 1.

Figura 1 – (a) Sementes de Moringa oleífera; (b) Extrato do filtrado das sementes moídas



Fonte: Elaborado pelo autor.

O efeito da ação coagulante dos extratos aquoso e salino recém-preparados foi avaliado para diferentes grupos de corantes, em diferentes dosagens, além de se avaliar o tempo ótimo de sedimentação. Os experimentos foram conduzidos utilizando-se os quatro grupos de corantes, conforme destacados no Quadro 1, quando foram coletadas amostras em intervalos pré-determinados.

Foram realizados trinta e dois experimentos em triplicata, sendo oito corantes, dois tipos de extrato e duas dosagens.

Foram avaliadas amostras somente na presença do extrato, em diferentes comprimentos de onda como referência (branco). Após 24h, os valores de absorvância residual puderam ser mensurados, conforme pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores de absorvância em função do comprimento de onda nos testes em branco com os extratos aquoso e salino, perante o efeito coagulante

(nm)	Abs. Aquoso, D50	Abs. Salino, D50	Abs. Aquoso, D25	Abs. Salino, D25
400	0,079	0,046	0,015	0,001
450	0,047	0,025	0,028	0,022
465	0,054	0,055	0,003	0,001
500	0,007	0,001	0,012	0,010

Fonte: Elaborado pelo autor.

Estes dados servem para respaldar a estimativa da remoção por meio da curva de calibração; as leituras, bem próximas de zero, indicam a pequena interferência do resíduo do extrato que permanece em solução. Partindo-se da referência água pura para a absorvância zero, considera-se que as leituras após 24h de tratamento referem-se praticamente ao corante residual não removido e à interferência, quase desprezível, do extrato em solução. De qualquer modo, a interferência do extrato aumentaria a leitura de absorvância, o que resultaria em uma remoção menor do que a real. Possíveis erros na estimativa da remoção, devido à interferência do extrato, estariam, portanto, subestimando a porcentagem de remoção.

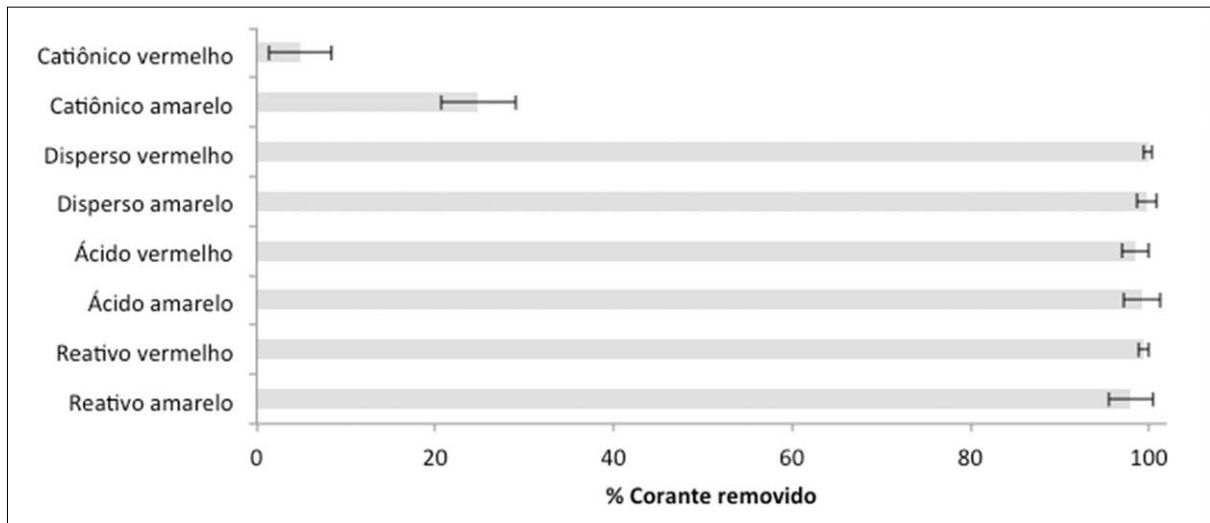
O efeito coagulante foi observado com bastante clareza em todos os corantes, exceto para os corantes catiônicos, que apresentaram baixa eficiência de remoção. A estimativa de remoção máxima de cada corante pode ser observada na Figura 2.

Observou-se a ação efetiva do extrato da semente da Moringa nos corantes ácidos, dispersos e reativos, e praticamente nenhuma ação no corante catiônico, que não apresentou alterações significativas na

leitura do espectrofotômetro, após tratamento com extrato de Moringa. Este fato pode ser explicado pela natureza química do corante, também denominado básico, que não apresenta afinidade química com o princípio ativo coagulante da semente de Moringa, uma proteína catiônica, conforme identificado por Ndabigengesere, Narasiah, Talbot (1995) e confirmado posteriormente por Ghebremichael *et al.* (2005).

A adsorção e a neutralização de cargas são os principais mecanismos de coagulação atribuídos à ação da Moringa. Estes fatos são condizentes com os observados por Gassenschmidt *et al.* (1995), que isolaram a proteína coagulante da Moringa. Para estes autores, o baixo peso molecular e a alta densidade de carga são características da proteína que ajudam a explicar a sua atividade coagulante. Os corantes catiônicos e as proteínas catiônicas do extrato apresentam, portanto, uma incompatibilidade de cargas, explicando-se, assim, o insucesso de sua remoção. Uma média geral de 92% da eficiência de remoção para os corantes testados pôde ser obtida, exceto para os corantes catiônicos.

Figura 2 – Porcentagem com desvios padrão da porcentagem de remoção de diferentes tipos de corante têxtil



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.1 Tipo de extrato, tempo de sedimentação e dosagem

Analisando-se o conjunto de dados quanto ao tipo de extrato, os resultados mostram uma proximidade de remoção (Quadro 2). Maiores eficiências foram observadas na dosagem de 50 mL.L⁻¹ de extrato

e no período de 24 horas de sedimentação. Convém salientar que a análise envolveu todas as parcelas experimentais. No período de 48 horas, ocorre uma diminuição na remoção do corante, devido ao fenômeno da dessorção dos corantes para a solução sobrenadante. Justifica-se, portanto, o tempo de 24 horas necessário para a remoção do corante.

Quadro 2 – Porcentagem do corante removido em função do tipo de extrato, tempo de sedimentação e dosagem

	Tipo de extrato		Tempo de sedimentação		Dosagem	
	aquoso	salino	t _{sed} , 24h	t _{sed} , 48h	D50 mL.L ⁻¹	D25 mL.L ⁻¹
Média	92,85	90,26	94,02	89,10	93,04	90,07
Desvio Padrão	7,73	8,15	6,31	8,79	7,72	8,10

Fonte: Elaborado pelo autor.

De acordo com os resultados obtidos na literatura, o uso da solução salina apresentou um melhor efeito coagulante em dosagens bem menores que o extrato aquoso simples (NDABIGENGESERE, NARASIAH, TALBOT, 1995; OKUDA *et al.* 1999). Os autores creditam a melhora da eficiência de coagulação associada ao efeito do sal no aumento das dissociações proteína-proteína, somado ao aumento da solubilidade da proteína, devido ao aumento da força iônica

relativa ao sal. No presente trabalho, entretanto, não foi constatado o mesmo efeito do extrato salino, inclusive obtendo-se remoções de corantes têxteis pouco inferiores ao extrato aquoso. Cabe destacar, todavia, que foram constatadas diferenças visuais entre as parcelas tratadas com extrato aquoso e salino. O lodo decorrente do extrato salino apresentou-se mais consistente que o lodo do extrato aquoso, fato este que facilita o processo subsequente de separação

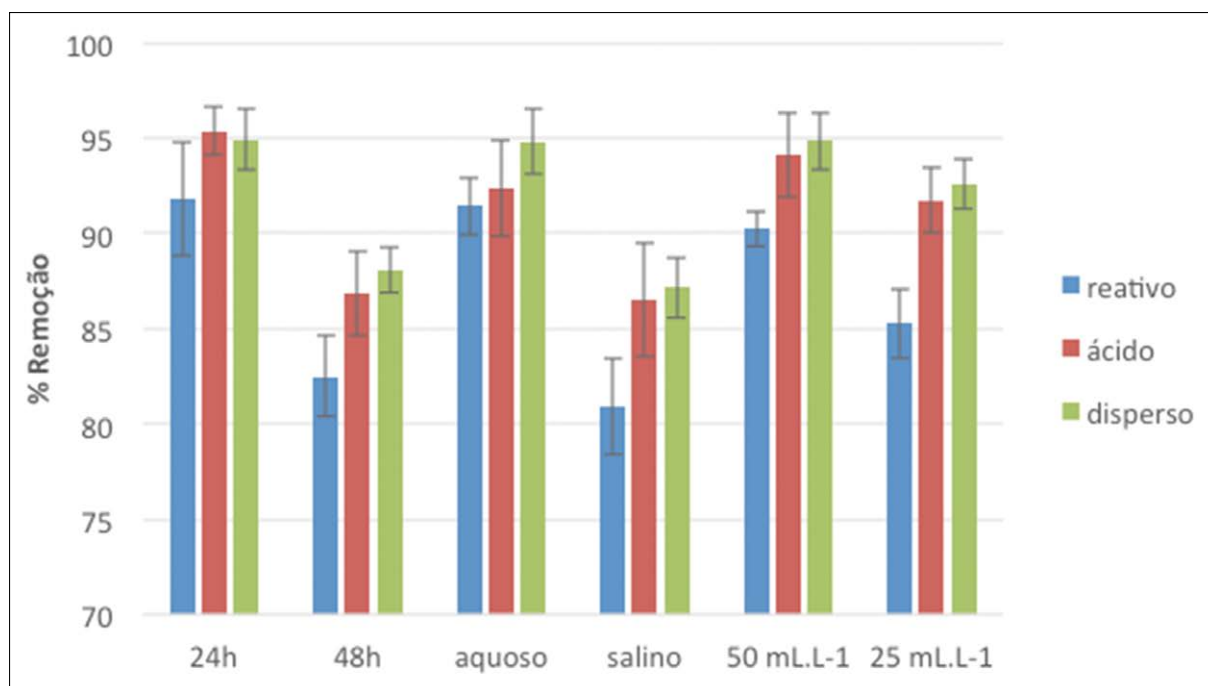
do lodo e solução sobrenadante, justificando assim a sua utilização. Por outro lado, a utilização do extrato salino implica a utilização do sal, devendo-se atentar também para a relação custo/benefício, em que se discute se a pretensa facilidade de filtração justifica o custo adicional da utilização de uma solução salina no preparo do extrato. Outro aspecto a ser considerado é a finalidade, reuso ou forma de disposição da água tratada.

A dosagem de 50 mL.L⁻¹ foi mais eficiente que a de 25 mL.L⁻¹, embora também apresentando pequena diferença; a redução da dosagem reflete menor demanda do insumo (extrato de moringa), fator importante ao se pensar em escala real de trabalho e disponibilidade de sementes para preparação do extrato. Outra vantagem para a diminuição da dosagem é a diminuição da carga orgânica total no efluente, proveniente do próprio extrato da Moringa segundo observado recentemente (BELTRÁN-HEREDIA et al., 2012).

3.2 Tipos de corantes

A ação do extrato de Moringa nos diferentes tipos de corantes mostrou-se mais efetiva no corante disperso, seguido do corante ácido e do corante reativo, conforme pode ser observado na Figura 3. Este resultado é facilmente associado às características do corante. O corante disperso se caracteriza por partículas insolúveis, dispersas em solução, o que favorece sua remoção via coagulação. O corante ácido, por sua vez, apresenta bom desempenho, devido principalmente à sua carga negativa, sendo que a literatura aponta uma proteína catiônica como responsável pela ação coagulante observada no extrato. Uma das características químicas na operação de tingimento do corante reativo é a presença de um grupo eletrofílico (reativo) capaz de formar ligação covalente com grupos amino, hidroxila e tióis das fibras proteicas. Sendo o princípio ativo coagulante da semente de Moringa uma proteína solúvel, é possível explicar a eficiência de remoção por meio desta afinidade química (NDABIGENGESERE, NARASIAH, TALBOT, 1995; GASSENSCHMIDT et al., 1995).

Figura 3 – Remoção dos diferentes tipos de corantes em diversas condições



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para avaliar o efeito coagulante do extrato da Moringa Oleífera para cada grupo de corantes, os resultados são apresentados de forma individualizada, a seguir.

3.2.1 Corantes reativos

O corante reativo vermelho apresentou valor médio de remoção (99,4%) na parcela experimental referente ao extrato aquoso, à dosagem de 50 mL.L, no período de 24 horas de sedimentação. Para o corante reativo amarelo, o teor de remoção (98,0%) ocorreu, no extrato aquoso, em um período de 24h de sedimentação, na dosagem de 50 mL.L⁻¹.

Apesar de a remoção máxima ocorrer nas mesmas condições, é possível observar diferenças no comportamento da cinética de remoção entre o corante reativo vermelho e amarelo, em que o primeiro foi removido de forma mais lenta.

Resultados similares na remoção de cinco corantes reativos de efluentes têxteis sintéticos foram obtidos por Vilaseca, López-grimau e Gutiérrez-bouzán (2014) que utilizaram os resíduos de extração de Moringa Oleífera como coagulante. A remoção dos corantes foi superior a 90%, com exceção para o corante Orange Procion, ação que, segundo os autores, se deve ao fato de se tratar de uma molécula de tamanho menor e apresentar uma menor quantidade de grupo sulfônico comparado com os demais corantes reativos estudados. Os corantes reativos utilizados neste trabalho também possuem grupos sulfônicos e apresentaram valores de remoção pouco inferiores aos obtidos por Vilaseca, López-grimau e Gutiérrez-bouzán (2014), provavelmente devido ao fato de os autores terem removido previamente o óleo contido nas sementes antes da realização do extrato. Este procedimento de remoção prévia do óleo aumenta a eficiência da remoção de corante, além de reduzir o teor de matéria orgânica na água (LAGASI; AGUNWAMBA; AHO, 2014). Diferentemente do obtido neste trabalho, Vilaseca, López-grimau e Gutiérrez-bouzán (2014) obtiveram melhores rendimentos na remoção dos corantes com o uso de uma solução salina. Ainda segundo os autores, a variação do pH de 5 a 11 não mostrou efeito significativo na remoção dos corantes.

3.2.2 Corantes ácidos

Para o corante ácido vermelho, a remoção máxima (98,5%) ocorreu na parcela tratada com extrato

salino, no período de 48h de sedimentação e dosagem de 50 mL.L. Observa-se, entretanto, que, no extrato aquoso, em ambas as dosagens, a remoção ocorreu mais rapidamente que no extrato salino. Para o corante ácido amarelo, a remoção máxima (99,3%) ocorreu no extrato salino, em período de 24h de sedimentação e dosagem de 50 mL.L. Observou-se comportamento similar ao corante ácido vermelho: a ação coagulante foi mais rápida no extrato aquoso, entretanto a maior remoção foi observada no extrato salino.

Beltrán-heredia *et al.* (2009), usando o extrato da Moringa Oleífera, obtiveram um teor de remoção acima de 95% da Alizarin violet 3R, a partir de um efluente sintético. Este corante de classificação ácida possui uma cadeia orgânica longa e com anéis aromáticos, além de grupos de sulfonato. Características estruturais que permitem a remoção de um agente coagulante catiônico, como o extrato da Moringa Oleífera. Resultados similares foram obtidos neste trabalho de acordo com as condições apresentadas previamente, sendo que os corantes ácidos Vermelho Lanaset G e Amarelo Lanaset 2R apresentaram características estruturais similares aos da Alizarin violet 3R, fatores que favorecem sua remoção pelo uso de um coagulante catiônico.

3.2.3 Corantes dispersos

Para o corante disperso vermelho, a remoção máxima (99,9%) ocorreu na parcela tratada com extrato salino, em período de 48h de sedimentação e dosagem de 50 mL.L. Para o corante disperso amarelo, a remoção máxima (99,8%) ocorreu com extrato salino, em período de 24h de sedimentação e dosagem de 50 mL.L. Não foram observadas diferenças de comportamento entre os corantes vermelho e amarelo. O corante disperso vermelho também apresentou velocidade de sedimentação maior no extrato aquoso, similar aos corantes ácidos.

Verma, Dash e Bhunia (2012) afirmam que os corantes dispersos possuem baixa solubilidade em água e elevados teores de remoção são obtidos a partir de efluentes industriais, utilizando os mais diversos tipos de polieletrólitos – este mesmo parâmetro corrobora os elevados rendimentos encontrados neste trabalho quando apresenta a utilização de um polieletrólito natural como o extrato da Moringa Oleífera.

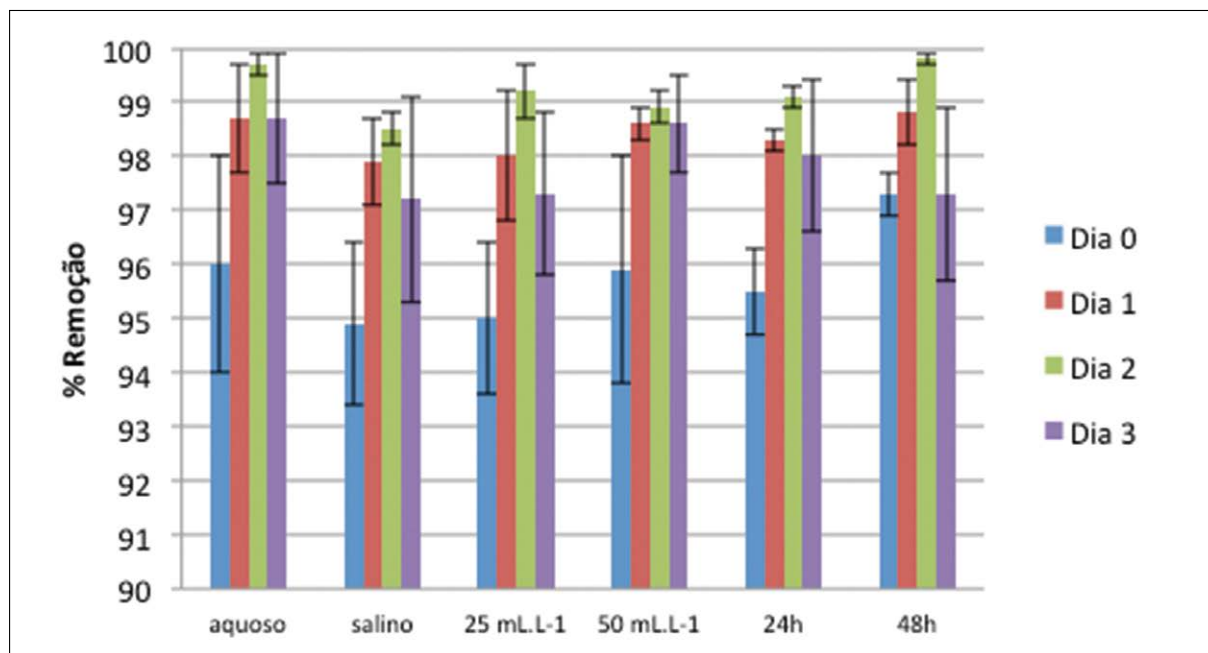
3.3 Armazenamento do extrato: efeito na atividade coagulante

Outro efeito observado foi não só a persistência da atividade coagulante do extrato, dias após o seu preparo, mas também indicativos de aumento de eficiência, fatos não mencionados no âmbito da pesquisa bibliográfica realizada.

A avaliação da atividade coagulante do extrato em função do tempo de armazenamento se baseou nos resultados obtidos para a remoção do corante ácido vermelho, utilizando-se extrato aquoso e salino,

armazenado à temperatura ambiente, ao abrigo da luz, dos quais foram retiradas alíquotas, sendo elas: do extrato recém-preparado (Dia 0), após um dia (Dia 1), após dois dias (Dia 2) e após três dias (Dia 3) de armazenamento nas condições acima citadas. Os resultados mostraram um incremento nas taxas de remoção do corante até o segundo dia. A mesma tendência foi observada ao avaliar a dosagem e o tempo de sedimentação, nos períodos de 24h e 48h (Figura 4). Após o terceiro dia, no entanto, os valores de remoção do corante começaram a reduzir lentamente.

Figura 4 – Avaliação da estabilidade da solução aquosa e salina do extrato da Moringa através da remoção de corante da solução



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os dados da Figura 4 ilustram a mesma tendência já observada no estudo de outros corantes, neste trabalho: o extrato aquoso apresentou maior eficiência que o extrato salino. Algumas diferenças foram observadas nas parcelas tratadas com extratos armazenados por 1, 2 e 3 dias. A pequena diferença encontrada para a remoção do corante com metade da dosagem utilizada, justifica a adoção da dosagem de 25 mL.L, devido ao fato de a relação quantidade-benefício ser bem mais favorável a esta dosagem, conforme discutido anteriormente.

Os resultados mostram que em todos os tratamentos foi observada a tendência de uma sedimentação mais rápida das amostras testadas com extrato armazenado por 1 dia. Os dados disponíveis não permitem, entretanto, um parecer conclusivo a respeito da durabilidade do extrato, mas abrem um precedente para futuros experimentos nesta linha de pesquisa.

Katayon *et al.* (2006) realizaram ensaios de remoção da turbidez de soluções com caulim (silicato hidratado de alumínio), em diferentes condições de

estocagem de soluções aquosas do extrato da Moringa em temperatura ambiente (28°C) e baixa temperatura (3°C). Os autores observaram que os extratos mantidos no refrigerador e à temperatura ambiente apresentaram melhores resultados para ensaios de amostras estocadas por um mês do que para os de 3 e 5 meses, embora com pequenas diferenças. Todos estes resultados, no entanto, foram melhores do que os do extrato recém-preparado. Segundo os autores, não houve diferença na remoção da turbidez entre os ensaios com extratos armazenados à temperatura ambiente e à baixa temperatura. Estes resultados somados aos resultados deste trabalho são bastante promissores para uma condição de estocagem do extrato da Moringa Oleífera e uma possível comercialização da solução floculante.

4 Conclusão

O extrato da semente da Moringa Oleífera mostrou-se bastante eficiente na ação coagulante de efluentes têxteis. De modo geral, a remoção de corantes têxteis em solução aquosa apresentou valores elevados de eficiência, sendo, portanto, viável a sua utilização em águas residuárias que contenham este tipo de corante. Importantes diferenças foram observadas dentro do grande grupo de corantes têxteis, agrupados segundo a sua forma de aplicação. Os corantes básicos, também denominados corantes catiônicos, não foram removidos de forma satisfatória, podendo esta informação servir como critério de seleção de corantes, por parte da indústria, em função da sua forma de tratamento enquanto resíduo.

A obtenção do extrato envolve etapas de moagem e filtração, operações unitárias que merecem estudos de aprimoramento. O tratamento prévio das sementes envolvendo a extração do óleo ou a divisão da filtração em duas etapas, com filtros de diferentes espessuras para facilitar o processo, são procedimentos que podem ser estudados com a finalidade de se melhorar a eficiência do processo de remoção dos corantes. Sob o enfoque da utilização do extrato como insumo no tratamento de águas residuárias, em escala industrial, considera-se seu preparo um aspecto ainda limitante. De acordo com Goh (2005), entretanto, apesar do custo para produzir 1kg (3400 sementes) da semente da Moringa ser de aproximadamente 2 dólares americanos e para o sulfato de alumínio ser de 1 dólar americano, o primeiro é mais vantajoso em termos de saúde, uma vez que

o alumínio tem sido relacionado com casos de Alzheimer (GOH, 2005)

Em relação a corantes têxteis em solução aquosa, a utilização de extrato salino não correspondeu a uma vantagem significativa em termos de remoção. Uma posterior avaliação da operação de separação do lodo poderá dizer se há vantagens na utilização do extrato salino para este tipo de solução, devido à diferença observada no lodo gerado.

Outro resultado promissor foi obtido na avaliação da atividade coagulante do extrato por até três dias de armazenagem à temperatura ambiente. Este fato é importante sob o aspecto operacional decorrente do uso do extrato em larga escala: a possibilidade de se preparar uma quantidade maior de extrato, sem perda da atividade coagulante, pode viabilizar a utilização deste insumo.

REFERÊNCIAS

- BELTRÁN-HEREDIA, J. *et al.* Removal of Alizarin violet 3R (anthraquinonic dye) from aqueous solutions by natural coagulants. **Journal of Hazardous Materials**, v. 170, n. 1, p. 43-50, 2009.
- BELTRÁN-HEREDIA, J.; SÁNCHEZ-MARTIN, J.; MUÑOZ-SERRANO, A.; PERES, J. A. Towards overcoming TOC increase in wastewater treated with Moringa oleifera seed extract. **Chemical Engineering Journal**, v. 188, p. 40-46, 2012.
- BHATIA, S.; OTHMAN, Z.; AHMAD, A.L. Pretreatment of palm oil effluent (POME) using Moringa oleifera seeds as natural coagulant. **Journal of Hazardous Materials**, v. 145, p. 120-126, 2007.
- BHUPTAWAT, H.; FOLKARD, G.K.; CHAUDHARI, S. Innovative physico-chemical treatment of wastewater incorporating Moringa oleifera seed coagulant. **Journal of Hazardous Materials**, v. 142, p. 477-482, 2007.
- BHUNIA, P.; VERMA A.K.; DASH, R.R. A review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of colour from textile wastewaters. **Journal of Environmental Management**, v. 93, p. 154-168, 2012.
- BICUDO, C. E. M.; TUNDISI, J. G.; SCHEUEWSTUHL, M. C. B. (orgs.). *Águas do Brasil: Análises Estratégicas*, São Paulo: Instituto de Botânica, 2010.
- BOLTO, B.; GREGORY, J. Organic polyelectrolytes in water treatment. **Water research**, v. 41, p. 2301-2324, 2007.

- CARVALHO, R. M. **Clarificação de águas pluviais ricas em óxidos de ferro, acumuladas em cava de mineração através da utilização de um coagulante natural, a *Moringa oleifera***. 2005. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto, Instituto de Ciências Exatas e Biológicas, Ouro Preto, Minas Gerais, 2005.
- GALLÃO, M. I.; DAMASCENO, L. F.; De BRITO, E. S. Avaliação química e estrutural da semente de moringa. **Revista Ciência Agronômica**, v. 37, n. 1, p. 106-109, 2006.
- GAO, B. Y. *et al.* Color removal from dye-containing wastewater by magnesium chloride. **Journal of Environmental Management**, v. 82, p. 167-172, 2007.
- GASSENSCHMIDT, U. *et al.* Isolation e characterization o a flocculating protein from *Moringa oleifera* (Lam). **Biochimica et Biophysica Acta (BBA)**, v. 1243, n. I.3, p. 477-481, 1995.
- GUARATINI, C.C.I.; ZANONI, M.V.B. Corantes Têxteis. **Química Nova**, v.23, n.1, p.71-78, 2000.
- GHEBREMICHAEL, K.A. *et al.* A simple purification and activity assay of the coagulant protein from *Moringa oleifera* seed. **Water Research**, v. 39, p. 2338-2344, 2005.
- GOH, C.W. Effect of room temperature on cogulation performance of *Moringa oleifera* seeds. B. Sc. Dissertation, Faculty of Engineering, Universiti Putra Malaysia, 2005.
- IQBAL, M. **Textile Dyes**. Pakistan: Ed. Rehbar Publishers Karachi , 2008. 179 p.
- KANSAL, S. K.; KUMARI, A. Potential of M. oleifera for the treatment of water and wastewater. **Chemical reviews**, v. 114, n. 9, p. 4993-5010, 2014.
- KATAYON, S. *et al.* Effects of storage conditions of *Moringa oleifera* seeds on its performance in coagulation. **Bioresource Technology**, v. 97. p. 1455-1460, 2006.
- KUNZ, A. *et al.* Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. **Química Nova**, v. 25, n. 1, p. 78-82, 2002.
- LAGASI, J. E.; AGUNWAMBA, J. C.; AHO, M. Comparative studies on the use of ordinary and de-oiled *Moringa oleifera* in the treatment of abattoir waste water. **The International Journal of Engineering And Science**, v. 3, n. 2, p. 1-7, 2014.
- NDABIGENGESERE, A.; NARASIAH K. S.; 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.; NARASIAH K.S. Quality of water treated by coagulation using *Moringa oleifera* seeds. **Water Research**, v. 32, n. 3, p. 781-791, 1998.
- OKUDA, T. *et al.* Improvement of extraction method of coagulation active components from *Moringa oleifera* seed. **Water Research**, v. 33, p. 3373-3378, 1999.
- _____. Isolation and characterization of coagulant extracted from *Moringa oleifera* seed by salt solution. **Water Research**, v. 35, n. 2, p. 405-410, 2001.
- RAMOS, R. O. **Estudo da clarificação de água natural com turbidez baixa e cor moderada utilizando a solução aquosa obtida com as sementes de *Moringa oleifera* como coagulante**. 2005. 248 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, São Paulo, 2005.
- SANTOS, R.O.; RABELO, T.S.; SCRHANK, S.G. Uso de sementes de *Moringa oleifera* para o tratamento de efluentes têxteis. In: . CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24., 2007, Belo Horizonte (MG). **Anais...** Belo Horizonte, 2007.
- SILVA, F. J. A.; MATOS, J. E. X. Sobre dispersões de *Moringa oleifera* para tratamento de água. **Revista Tecnol**, v. 29, n. 2, p. 157-163, Fortaleza – CE, 2008.
- SILVA, F. J. A. *et al.* Descolorização de efluente de indústria têxtil utilizando coagulante natural (*Moringa* e Quitosana). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: ABES, 2001. 1 CD-ROM.
- TUNDISI, J.G. **Água no Século XXI: Enfrentando a Escassez**. São Paulo: RiMa, 2003.
- VERMA, A. K.; DASH, R. R.; BHUNIA, P. A. review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of colour from textile wastewaters. **Journal of Environmental Management**, v. 93, n. 1, p. 154-168, 2012.
- VILASECA, M.; LÓPEZ-GRIMAU, V.; GUTIÉRREZ-BOUZÁN, C. Valorization of waste obtained from oil extraction in moringa oleifera seeds:

Coagulation of reactive dyes in textile effluents.

Materials, v. 7, n. 9, p. 6569-6584, 2014.

AGRADECIMENTO

Ao Programa Institucional de Iniciação Científica da Universidade Guarulhos – PIBIC-UnG pela bolsa concedida aos alunos Marise Cotta Machado e Thiago Engels.