XIII SIMPÓSIO NACIONAL DE SISTEMAS PREDIAIS
DESEMPENHO E INOVAÇÃO
DE SISTEMAS PREDIAIS HIDRÁULICOS
SÃO PAULO – 04 DE OUTURO DE 2019

Tratamento de Águas Cinzas de Máquina de Lavar Roupas com Coagulantes Químicos e Natural

Treatment of greywater from washing machine with chemical and natural coagulants

CAMPOS RODRIGUES, Karen[1]; PAULA, Heber M. de[2]; SARMENTO, Antover P[2].; ILHA, Marina S. de O.[3]

[1] Universidade Federal de Goiás – Regional Catalão, Av. Dr. Lamartine P. de Avelar, 1120, Setor Universitário, Catalão, Goiás, karencamposrodrigues@hotmail.com
[2] Universidade Federal de Goiás – Regional Catalão, heberdepaula@ufg.br
[3] Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, milha@fec.unicamp.br

RESUMO

A *Moringa Oleífera* (MO) é um coagulante natural que vem sendo utilizado para o tratamento de águas superficiais e residuárias, de modo a diminuir a quantidade de coagulantes químicos que são empregados para este fim. Este trabalho tem o objetivo de comparar o uso de dois coagulantes químicos (sulfato de alumínio – SA e nitrato de cálcio – NC) e de uma solução de *Moringa Oleifera* extraída em nitrato de cálcio (MO+NC) no tratamento de águas cinzas provenientes da máquina de lavar roupas. Os parâmetros avaliados foram pH, turbidez e volume de lodo gerado, cujos resultados foram comparados por meio do teste de Scott-Knott para a definição das dosagens ótimas de cada coagulante. Para o SA, a dosagem ótima foi de 3 ml L^{-1} e propiciou a redução de 98,9% na turbidez com pH igual a 6,0; para a MO+NC, foi 25 ml L^{-1}, com redução de 98,8% na turbidez e pH igual a 6,5. O uso do NC exclusivamente propiciou o aumento da turbidez em até 19,3%. Considerando-se apenas os parâmetros em estudo, verifica-se que a água tratada com MO+NC, poderia ser utilizada para o reúso de água residencial.

Palavras-chave: Coagulação, Reúsode água, Qualidade da água, Água cinza, Sustentabilidade, Tratamento.

ABSTRACT

*The Moringa oleifera (*MO) is a natural coagulant that has been used for the treatment of superficial water and wastewater in order to the amount of chemical coagulants that are used for this end. *This work aims to compare the effects of the utilization of two chemical coagulants (aluminum sulphate – SA and calcium nitrate - NC), and a solution of Moringa oleifera extracted in calcium nitrate in the treatment of greywater from washing machine. The parameters evaluated was pH, turbidity and the sludge volume, whose results were compared using the Scott-Knott test to define the optimal dosages of each coagulant. For the SA, with 3 ml L^{-1}, and allowed the reduction of 98,9% in the turbidity, with pH of 6,0, for MO+NC, was 25 ml L^{-1}, with reduction of 98,8% in the turbidity and pH equal to 6,5. The use of NC exclusively provided the increase of turbidity in up to 19,3%. Considering only the parameters in study, it is verified that the treated water with MO+NC could be used for residential water reuse.*

Keywords: *Coagulation, Water reuse, Water quality, Greywater, Sustainability, Treatment.*

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Oteng-Peprah, Acheampong e deVries (2018), a água cinza pode ser reutilizada para diferentes atividades, incluindo usos potáveis e não potáveis. O valor da contribuição da água cinza pode variar de 50 a 80% do efluente total de uma residência, conforme Ghaitidaki e Yadav (2015).

A máquina de lavar roupas utiliza normalmente grandes volumes de água e, portanto, consiste em uma potencial fonte de água cinza que, após tratada, pode servir como fonte alternativa de água.

Segundo Villaseñor-Basulto (2018) uma nova tendência no tratamento de águas residuárias é a utilização de materiais mais amigáveis ecologicamente, como polímeros orgânicos naturais, que possuem uma variedade de benefícios, incluindo a redução de custos, prevenção de variações no pH da água tratada, reduzindo o volume de lodo e fornecendo maio biodegradabilidade.

A eficiência do tratamento por coagulação na remoção de turbidez já foi observada por Noutsopoulos et al. (2018). O autor comparou diversos tipos de tratamento para variadas combinações de água cinza do banheiro, cozinha e lavanderia, sendo que nos sistemas de tratamento onde foi incluída a etapa de coagulação, chegou-se a maior eficácia na remoção de turbidez, sólidos solúveis, surfactantes e carbono orgânico.

Dente os coagulantes naturais, merece destaque a *Moringa oleifera* (*M. oleifera*). Para Villaseñor-Basulto*et al.* (2018), o tratamento de águas residuárias utilizando farinha da semente de *M. oleifera* é um método alternativo interessante para países em desenvolvimento, especialmente para pequenas estações de tratamento. Algumas das diversas vantagens do seu uso são: alto custo benefício e baixa toxicidade. O uso da moringa em adição a outros coagulantes químicos para melhorar os processos de tratamento aumenta a sua eficácia e reduz a toxicidade final da água tratada.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho é avaliar os efeitos da utilização da *M. oleífera,*extraída em nitrato de cálcio, em comparação a dois coagulantes químicos: sulfato de alumínio e solução aquosa de nitrato de cálcio no processo de tratamento da água cinza da máquina de lavar roupas por coagulação/floculação, visando o reuso residencial.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras de água cinza provenientes da máquina de lavar roupas foram coletadas entre os meses de junho e julho de 2018, em um apartamento habitado por indivíduos em idade adulta, de perfil universitário. Para cada repetição do experimento era realizada uma coleta de amostras do primeiro enxague da máquina de lavar, em recipientes plásticos de 5 L de volume, desinfetado previamente com hipoclorito de sódio 1%, conforme método utilizado por Paula e Fernandes (2018).

As roupas lavadas possuem coloração variada e foram utilizados os seguintes produtos lavagem: sabão em pó, amaciante líquido e alvejante em pó, todos de marcas nacionais.

Para o preparo do extrato da *M. oleifera*foram utilizadas sementes coletadas nos meses de junho e julho de 2018. As sementes foram retiradas da vagem e mantidas em um dessecador. Quando da preparação do extrato, as sementes foram colocadas em estufa a uma temperatura de 60 ºC por um período de 24 h e então descascadas e trituradas em um liquidificador, momento em que era obtida a farinha da semente de *M. oleifera*. O extrato foi preparado utilizando uma concentração de 50 g L^{-1} de *M. oleifera* e 0,125 Mol (29,5 g L^{-1}) de nitrato de cálcio tetrahidratado ($Ca(NO_3)_2.4H_2O$) e água deionizada, adicionados simultaneamente, no agitador magnético (DiagTech®, modelo DT3110H) e mantidos em mistura por 30 minutos. Por fim, o extrato foi passado em um papel filtro.

Na solução de sulfato de alumínio foi utilizado sulfato de alumínio comercial ($Al_2(SO_4)_3.14H_2O$) na concentração de 50 g L^{-1}. A solução de nitrato de cálcio aquoso foi preparada utilizando a concentração de 0,125 Mol (29,5 g L^{-1}). Ambas as soluções empregaram água deionizada e o agitador magnético. Todas as soluções foram mantidas refrigeradas, a uma temperatura de 4 ºC e utilizadas 24 h após o preparo. O extrato de *M. oleifera* não foi utilizado por períodos maiores do que 7 (sete) dias e os coagulantes químicos por 30 dias.

As dosagens utilizadas para cada coagulante estão especificadas na Tabela 1. A caracterização da água tratada foi feita a partir dos seguintes parâmetros: turbidez, pH e formação de lodo.

TABELA 1 – Dosagens empregadas para os coagulantes

Sulfato de alumínio (mL)	MO + Nitrato de cálcio (mL)	Nitrato de cálcio (mL)
3	5	10
6	10	20
9	15	30
12	20	40
15	25	50
18	30	60

Para a caracterização da água cinza, foram determinados a turbidez (turbidímetro Del Lab®, modelo DLT-WV) e o pH (pHmetro de bancada Kasvi).

Para os ensaios de coagulação foi utilizado o Jar Test (Milan, modelo JT-203/6) com seis cubas, os ensaios foram realizados adotando a velocidade de 100 rpm (1,67 s^{-1}) por 2 minutos para rotação rápida, seguidos de 40 rpm (0,67 s^{-1}) por 20 minutos para rotação lenta, valores também adotados por Ndabigengesere e Narasiah (1998), Paula e Fernandes (2018) e Paula et al. (2018).

Após a coagulação e floculação, foi respeitado um período de 60 minutos para sedimentação dos flocos. A adição dos coagulantes foi realizada imediatamente após o início da rotação rápida.

Foram determinadas as melhores dosagens dos coagulantes com base na análise de variância empregando o programa Sisvar 5.7® e na comparação de médias pelo teste de

Scott-Knott a 5% de probabilidade (p=0,05).

Foram considerados, na análise dos resultados, os limites aceitáveis dos parâmetros para a água de reuso definidos na NBR 13969 (ABNT, 1997) e por Sautchuk et al. (2005).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

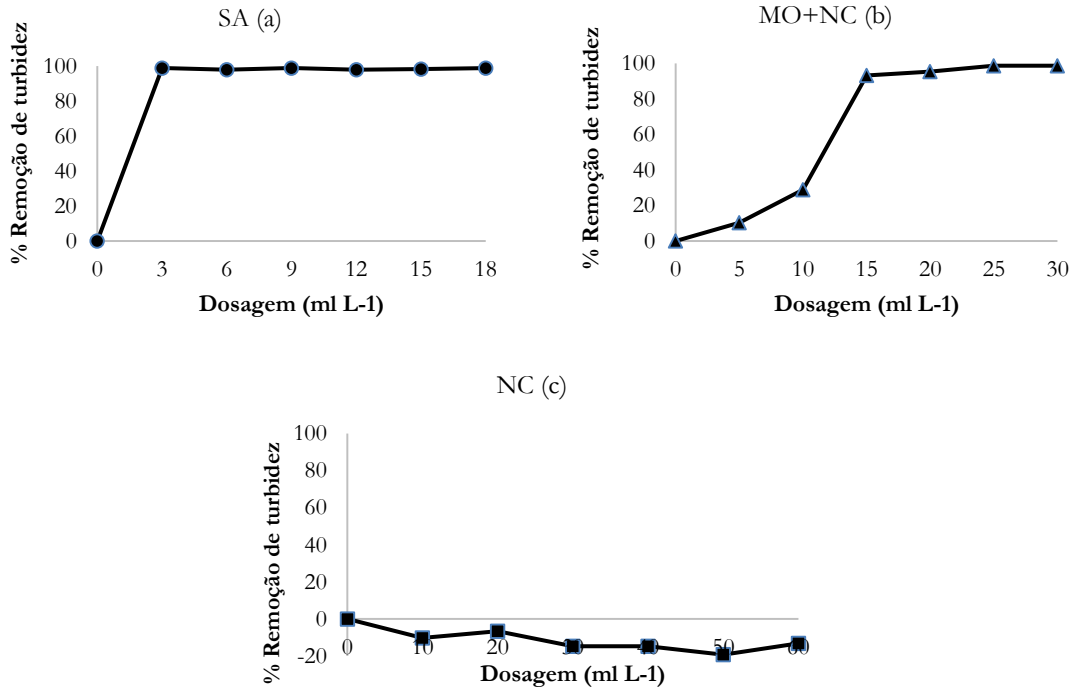
A caracterização da água cinza proveniente da máquina de lavar roupas é apresentada na Tabela 2, em conjunto com parâmetros encontrados em outros estudos levantados na literatura, a título de ilustração. O valor do pH no presente estudo é bastante inferior, o que pode causado pela diferença entre os produtos químicos utilizados no processo de lavagem das roupas.

TABELA 2 – Caracterização da água cinza da máquina de lavar roupas.

Fonte	pH	Turbidez
Este estudo	6,4 – 6,8	86,8 – 95,5
Manouchehri e Kargari (2017)	9,3 – 10,0	14,0 – 400,0
Ghaitidak e Yadav (2013)	8,3 – 9,3	328,0 – 444,0
Boyjoo, Pareek e Ang (2013)	9,3 – 10,0	50,0 – 210,0

A Figura 1 apresenta a porcentagem de remoção da turbidez para cada solução de coagulantes empregada no tratamento da água cinza da máquina de lavar roupas.

FIGURA 1 – Remoção da turbidez para os coagulantes empregados nesse estudo. Valores negativos indicam que houve aumento da turbidez em relação à água cinza.



SA – sulfato de alumínio MO - *M. Oleifera* NC – nitrato de cálcio

Para o SA, logo na primeira dosagem, de 3 ml L^{-1} (0,15 g L^{-1}), foi observada uma redução de turbidez de 98,9%, com turbidez residual de 0,99 NTU, os valores apresentaram pouca variação com o aumento da dosagem.

Para o NC, não ocorreu a interação entre as partículas da solução com os coloides em suspensão na água cinza, aumentando o número de sólidos suspensos, o que ocasionou o aumento da turbidez. A amostra testemunha (referência) submetida ao processo de mistura rápida e lenta, porém sem a adição de coagulantes, também apresentou aumento da turbidez, passando de 88 para 96,5 NTU. Esse fato que pode ser explicado ao se observar o processo de agitação rápida e lenta que, sem um elemento agregador das partículas coloidais, pode ter causado a alteração na sua estrutura, especialmente na camada difusa. Como não ocorreu a reestruturação e formação dos flocos, as partículas que poderiam ter sedimentado ficaram em suspensão e, consequentemente, aumentaram a turbidez.

A Tabela 3 apresenta os resultados da análise feita com o teste de Scott-Knott para a seleção das melhores dosagens dos coagulantes SA e MO+NC.

TABELA 3 – Comparação das médias dos parâmetros pH, turbidez e volume de lodo para os coagulantes SA e MO+NC pelo teste de Scott-Knott. Colunas com uma mesma letra em todas as linhas indicam que não há diferença para o nível de confiança de 5%

Coagulante	Dosagem (ml L^{-1})	pH	Turbidez residual (NTU)	Volume de lodo (cm^3)
SA	3	6,0 a	1,0 a	74,2 b
	6	4,7 b	1,8 a	69,6 b
	9	4,4 b	1,0 a	60,3 b
	12	4,3 b	1,8 a	62,6 b
	15	4,2 b	1,5 a	48,7 a
	18	4,2 b	1,1 a	44,1 a
MO+NC	5	6,8 a	79,0 c	4,6 a
	10	6,6 a	62,6 b	20,9 b
	15	6,6 a	6,0 a	32,5 c
	20	6,6 a	4,0 a	39,4 c
	25	6,5 a	1,2 a	44,1 c
	30	6,5 a	1,2 a	51,0 c

A turbidez residual para o tratamento com SA não apresentou significância (p=0,74), ou seja, a variação da dosagem não afeta significativamente os valores de turbidez residual, o que pode ser explicado pelas altas taxas de remoção de turbidez obtidas com baixas dosagens e a estabilização dessas taxas mesmo com o aumento das dosagens. A dosagem de SA que apresenta os melhores resultados é a de 3 mL L^{-1} (0,15 g L^{-1}), que, apesar de produzir maior volume de lodo, é a que apresenta melhor resultado para o pH e utiliza menor quantidade de coagulante.

O pH das amostras tratadas com MO+NC não apresentou significância (p=0,34) em relação à variação da dosagem. Em relação ao volume de lodo produzido e à turbidez residual, as dosagens de 15 a 30 mL L^{-1} não diferem entre si estatisticamente.

As dosagens que apresentaram os melhores resultados, para o SA e MO+NC, foram de 3 mL L^{-1} e 25 mL L^{-1}, respectivamente.

Com as dosagens ótimas de SA e da solução MO+NC, os valores do pH e turbidez resultaram inferiores aos limites estabelecidos para as Classes I, II e III da NBR 13969 (ABNT, 1997) e para a Classe I de reúso de Sautchuk et al. (2005), contudo, para a sua efetiva utilização para fins de reúso, torna-se necessário avaliar os demais parâmetros de qualidade.

4 CONCLUSÕES

Os resultados do tratamento da água cinza proveniente da máquina de lavar roupas, em termos do pH e da turbidez, com uma solução de *M.Oleifera* extraída em nitrato de cálcio foram equivalentes aos obtidos apenas com o sulfato de alumínio, quando consideradas as dosagens ótimas.

Destaca-se que, apesar dos valores atingidos de pH e de turbidez terem sido inferiores aos limites constantes nos documentos de referência considerados, torna-se necessário avaliar outros parâmetros para a utilização da água tratada para fins de reúso.

Com o sulfato de alumínio, a remoção da turbidez foi obtida com uma baixa dosagem: 3 mL L^{-1}. O tratamento utilizando *M. oleifera* extraída em nitrato de cálcio, por outro lado, necessita de dosagens maiores, como 25 mL L^{-1} para obter resultados semelhantes, sem reduções significativas no pH.

Não foi observada formação de flocos com a solução de nitrato de cálcio aquoso, e consequentemente, não ocorreu a redução na turbidez da água cinza para essa solução. Sendo assim, o nitrato de cálcio é eficiente apenas quando combinado com a *M. Oleifera*, a qual teve suas propriedades coagulantes potencializadas, acredita-se, pela presença do cálcio.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) pelo apoio financeiro para apresentação do trabalho.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇAO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. **NBR 13969:** Tanques Sépticos-Unidades de tratamento Complementar e Disposição Final dos Efluentes Líquidos-Projeto, Construção e Operação.Rio de Janeiro: ABNT. 1997.

BOYJOO, Y.; PAREEK, V. K.; ANG, M. A review of greywater characteristics and treatment processes. **Water Science & Technology**. v.67.7, p.1403-1424. 2013. DOI: 10.2166/wst.2013.675. Acesso em 22 de agosto de 2018.

GHAITIDAK, D. M.; YADAV, K. D. Characteristics and treatment of greywater – a review. **Environ Sci Pollut Res.**, v.20. p.2795-2809. 2013. DOI: 10.1007/s11356-013-1533-0. Acesso em 21 de setembro de 2018.

GHAITIDAK, D. M.; YADAV, K. D. Effect of coagulat in greywater treatment for reuse: selection of optimal coagulaton condition using Analytic Hierarchy Process. **Desalination and Water Treatment**, v.55, n.4, p.1-13. 2015. DOI: 10.1080/19443994.2014.924036. Acesso em 21 de março de 2019.

MANOUCHEHRI, M.; KARGARI, A. Water recovery from laundry wastewater by the cross flow microfiltration process: A strategy for water recycling in residential buildings. **Journal of Cleaner Production**, v.168, p.227-238. 2017. DOI:10.1016/j.jclepro.2017.08.211. Acessoem 18 de março de 2019.

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.

NOUTSOPOULOS, C.; ANDREADAKIS, A.; KOURIS, N.; CHARCHOUSI, D.; MENDRINOU, P.; GALANI, A.; MANTZIARAS, I.; KOUMAKI, E. Greywater characterization and loadings – Physicochemical treatment to promote onsite reuse. **Journal of Environmental Management**,v.216, p.337-346. 2018. DOI: 10.1016/j.jenvman.2017.05.094. Acesso em 15 de setembro de 2018.

OTENG-PEPRAH, M.; ACHEAMPONG, M. A.; DEVRIES, N. K. Greywater Characteristics, Treatment Systems, Reuse Strategies and User Perception – a Review. **Water Air SoilPollut**,n.255, p.1-16. 2018. DOI: 10.1007/s11270-018-3909-8. Acesso em 19 de março de 2019.

PAULA, H. M.; FERNANDES, C. E. Otimização do tratamento de água cinza a partir do uso combinado de coagulantes químicos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.23, n.5, p.951-961. 2018. DOI: 10.1590/S1413-41522018169155; Acesso em 20 de março de 2019.

PAULA, H. M.; ILHA, M. S. O.; SARMENTO, A. P.; ANDRADE, L. S. Dosage optimization of Moringa oleifera seed and traditional chemical coagulants solutions for concrete plant wastewater treatment. **Journal of Cleaner Production**, v.174, p.123-132. 2018. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.10.311 Acesso em 20 de setembro de 2018.

SAUTCHUK, C.; FARINA, H.; HESPANHOL, I.; OLIVEIRA, L. H.; COSTI, L. O.; ILHA, M. S. O.; GONÇALVES, O. M.; MAY, S.; BONI, S. S. N.; SCHMIDT, W. **Conservação e reuso da água em edificações – Manual da FIESP.** São Paulo, 2005. 151 p.

VILLASEÑOR-BASULTO, D. L.; ASTUDILLO-SÁNCHEZ, P. D.; REAL-OLVERA, J.; BANDALA, E. R. Waste water treatment using *Moringa oleifera* Lam seeds: A review. **Journal of Water Process Engineering**,v.23, p.151-164. 2018. DOI: 10.1016/j.jwpe.2018.03.017. Acesso em 05 de outubro de 2018.