

AVALIAÇÃO COMPARATIVA DE AGENTES COAGULANTES QUÍMICO E NATURAL NO TRATAMENTO DO EFLUENTE DA LAVAGEM DE VEÍCULOS NO MUNICÍPIO DE SUMÉ-PB

Bruno Rafael Pereira Nunes ¹
Crisóstomo Hermes Soares Trajano da Silva ²
Maxsuel da Costa Leal ³
José Jefferson Barros Pires ⁴

RESUMO

A lavagem de veículos é uma das atividades que mais demanda água potável, entretanto, visando a economia deste recurso, o seu reaproveitamento tem sido proposto e estudado. Com isso, o objetivo do presente trabalho foi comparar a aplicabilidade do sulfato de alumínio e das sementes de moringa (*Moringa oleífera*), no processo de clarificação do efluente proveniente da lavagem de automóveis. Amostras de 1,0 L, coletadas em um lava-jato localizado no Município de Sumé-PB, foram utilizadas para realização dos testes, conduzidos em garrafas PET, sendo aplicados como coagulantes o sulfato de alumínio e sementes de moringa pulverizadas. Aplicou-se o planejamento fatorial, para verificar a influência do tempo de tratamento e quantidade de coagulante sobre a turbidez, o pH e a condutividade elétrica das amostras. Os resultados obtidos para turbidez permitiram verificar uma redução de até 94% quando se utilizou o coagulante obtido a partir da semente de moringa e de até 96%, para o sulfato, que também proporcionou a redução de pH e aumento da condutividade. A análise estatística indicou que, para um nível de confiança de 95%, o efeito do tempo foi significativo sobre a resposta turbidez, para os dois coagulantes utilizados. Para as condições estudadas, é possível afirmar que as sementes de moringa podem ser aplicadas como coagulante no tratamento de águas residuais de lava-jato, reduzindo os teores de turbidez, com a vantagem de ser um produto natural de baixo custo e sem promover alterações significativas no pH e na condutividade das amostras.

Palavras-chave: *Moringa oleífera*, Sulfato de alumínio, Turbidez, Reutilização de água, Planejamento fatorial.

INTRODUÇÃO

Atualmente, a sociedade sofre com diversos problemas ambientais, dentre eles a escassez e o desperdício de água têm gerado grandes discussões. Conseqüentemente, vários estudos vêm sendo realizados objetivando a determinação de métodos que sejam sustentáveis e mais eficazes no tratamento de águas residuais para que essas possam ser reutilizadas. Com o tratamento, efluentes que inicialmente apresentam características que os tornam impróprios para o consumo humano, poderiam proporcionar a substituição de água potável por outra, de qualidade inferior, porém compatível com diversos usos (CARVALHO et al., 2014, p. 3165).

¹ Doutor pelo Curso de Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, bruno.nunes@ufcg.edu.br;

² Graduando do Curso de Engenharia de Biosistemas da UFCG, crisostomodm@hotmail.com;

³ Graduando do Curso de Engenharia de Biotecnologia e Bioprocessos da UFCG, max_8g@hotmail.com;

⁴ Mestrando do Curso de Gestão e Regulação em Recursos Hídricos da UFCG, josejefferson_2@hotmail.com;

Dentre as atividades que, normalmente, utilizam uma elevada quantidade de água potável, para um fim que não necessita deste nível de qualidade, a lavagem de veículos tem se destacado, principalmente devido ao aumento da frota de automóveis no Brasil, o que torna a demanda para higienização destes bens, cada vez maior, principalmente nas áreas residenciais localizadas nas zonas urbanas (LAU; ISMAIL; FIRDAUS, 2013, p. 27; BOLUARTE et al., 2016, p. 44).

Estima-se que no processo padrão para lavagem de um carro, dependendo do porte da empresa que efetua o serviço e do tamanho do veículo, produz-se, em média, entre 150 e 600 litros de efluente por veículo (GÖNDER et al., 2017, p. 380). Além disso, tais processos, geram um efluente com elevado teor de carga orgânica que na maioria das vezes é descartado no meio ambiente de forma imprópria, sem nenhum tipo de tratamento. O efluente gerado nessa atividade pode conter quantidades significativas de matéria particulada, areia, óleos, graxas, metais pesados e surfactantes. Além disso, é possível verificar a presença de compostos fenólicos, que alteram as propriedades organolépticas da água, bem como uma grande quantidade de detergente (BOLUARTE et al., 2016, p. 44).

Em algumas instalações de lavagem, o tratamento empregado consiste em uma caixa separadora de água, óleo e partículas sólidas que faz essa separação pelo processo de decantação. Entretanto, muitas vezes, este tipo de tratamento não tem sido eficiente, pois a maior parte dos efluentes tratados se encontram em desacordo com os padrões máximos permitidos para o lançamento de efluentes no ambiente (DORIGON e TESSARO, 2010, p. 13).

Como esta atividade gera impactos ao meio ambiente, também deve-se levar em consideração que a instalação e funcionamento desse tipo de empreendimento requer o licenciamento ambiental, que deve estar em concordância com os seguintes dispositivos legais: Constituição Federal, art. 225; Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981 (art. 9º. III); Resolução CONAMA 237/1997; Resolução CONAMA 273/2000 e a Resolução CONAMA 357/2005 (ROSA, et al., 2011, p. 180). No Brasil não existe uma legislação específica para estabelecimentos de lavagem de automóveis, entretanto, a nível estadual já existem algumas leis direcionadas para as empresas de lavagem de veículos, com a preocupação não apenas no tratamento do efluente, mas também no reúso da água. Um exemplo é a Lei 3.812/2006, sancionada em Brasília, Distrito Federal, em 2006, que torna obrigatória a reutilização da água utilizada nos postos de gasolina e na lavagem de veículos (NETO et al., 2015, p. 4).

Neste sentido, existe a necessidade de estabelecer uma prática de reutilização dos efluentes para que as instalações funcionem dentro de uma temática sustentável. Com isso,

várias tecnologias de reutilização existem há décadas e os avanços na ciência da purificação reduziram a complexidade e os custos do tratamento. A reutilização da água é assim reconhecida nos círculos científicos e cada vez mais pelas empresas de água como fonte de água limpa, segura e confiável para fins residenciais, industriais e agrícolas (HARTLEY; TORTAJADA; BISWAS, 2019, p. 1).

A reutilização, além de proporcionar a economia de grandes volumes de água potável, pode gerar benefícios ambientais como reduções nas descargas de águas residuais nos corpos d'água naturais, a diminuição dos impactos da proliferação de algas e eutrofização, reduções no uso de produtos químicos para tratamento, reduções nas emissões de gases de efeito estufa, quando a reutilização é uma alternativa à dessalinização, entre outros (DE GOIS; RIOS; COSTANZI, 2015, p. 264; SANTANA et al., 2019, p. 744).

A prática de reúso de efluentes tem como propósito reduzir a demanda sobre os mananciais devido à substituição da água potável por uma água de qualidade inferior. Esta substituição depende da qualidade pretendida para um uso específico (CARVALHO et al., 2014, p. 3165). Dentre as modalidades de reutilização, este trabalho tem como foco as aplicações em meio urbano que não exijam a potabilidade, como a irrigação de campos de esporte, parques jardins, cemitérios, canteiros de rodovias, usos ornamentas e paisagísticos, combate a incêndios, descarga de toaletes e a própria lavagem de veículos.

Uma das alternativas encontrada para o tratamento de efluentes com elevadas cargas de matéria suspensa, como o proveniente da lavagem de veículos, está no uso de coagulantes, sendo aplicadas técnicas básicas, como coagulação, floculação e a decantação para a remoção de partículas suspensas e da coloração aparente destes efluentes. Conseqüentemente, o processo de coagulação pode ser visto como um dos tratamentos para fornecer um efluente final que possa ser reutilizado nas atividades de higienização e outras que requeiram um nível de pureza menor.

O processo de coagulação é geralmente usado em estações de tratamento de águas, visando reduzir a concentração de sólidos em suspensão, partículas coloidais não sedimentares e patógenos em suspensão, diminuindo a turbidez e a cor, e, conseqüentemente, melhorando a qualidade da água (CHEN et al., 2018, p. 322; MEGERSA et al., 2019, p. 319). A não remoção deste tipo de matéria pode causar problemas na aparência como cor, odor e turbidez (WAN et al., 2019, p. 29). Estes aspectos visuais são perceptíveis e podem causar repulsa por parte dos usuários, que darão preferência a uma fonte de aspecto mais agradável (LIMA JR. e ABREU, 2018, p. 719). O odor está relacionado à matéria orgânica em decomposição, microrganismos e gases dissolvidos. Águas com odores fortes e/ou

desagradáveis, também tendem a ser rejeitadas, por isso faz-se necessário que a água de reúso para qualquer aplicação apresente odor não ofensivo (REZENDE, 2016, p. 36).

Além disso, os sólidos em suspensão totais e a turbidez são variáveis importantes pois interferem nos processos de desinfecção, podendo contribuir para a formação de aglomerados de contaminantes indesejados e sítios de proteção de patógenos causadores de doenças de veiculação hídrica (vírus, bactérias e protozoários), causando objeção à água de reúso além de problemas com a irrigação por aspersão (LIMA JR. e ABREU, 2018, p. 717; REZENDE, 2016, p. 73).

A coagulação é um processo físico-químico que promove a redução do potencial repulsivo da dupla camada elétrica de coloides por meio da aplicação de coagulantes. Como resultado da ação destes materiais, ocorre a floculação, em que as micropartículas coloidais começam a se aglomerar e a formar flocos maiores, passíveis de sedimentação. Esse fenômeno de aglomeração inclui vários mecanismos, como neutralização de carga, aprisionamento, adsorção e complexação com os íons metálicos do coagulante em agregados insolúveis (RIBEIRO, 2015, p. 9; SILLANPÄÄ, et al, 2018, p. 56).

As reduções das partículas dependem do tipo e dosagem do coagulante, pH da água, temperatura, qualidade da água bruta e características das partículas (CHEN et al., 2018, p. 322). Em relação ao efeito da dosagem de coagulantes, determinar a quantidade ideal é um pré-requisito para uma eficiência otimizada. Assim, a superdosagem do coagulante resulta em um aumento substancial na quantidade de lodo gerado e uma diminuição no pH, enquanto uma dose mais baixa é geralmente a causa dos metais residuais restantes na água tratada, daí a necessidade de processos de coagulação aprimorados (SILLANPÄÄ, et al, 2018, p. 56).

Na prática, o tratamento da água por coagulação é realizado pela adição de uma determinada quantidade de coagulantes, geralmente inorgânicos, como sais de alumínio ou ferro, que, em solução são dissociados em sua forma iônica trivalente (Al^{3+} e Fe^{3+}), hidrolisados e acabam formando complexos carregados positivamente altamente interativos com o coloides com carga negativa (SILLANPÄÄ, et al, 2018, p. 56).

Os coagulantes inorgânicos mais frequentemente utilizados são os sais de alumínio, policloreto ($Al_n(OH)_mCl_{3n-m}$) e sulfato ($Al_2(SO_4)_3$), além dos sais de ferro, cloreto férrico ($FeCl_3$) e o sulfato ferroso ($FeSO_4$). Os sais de titânio também vêm sendo estudados como promissores agentes de tratamento de água devido à excelente capacidade de remoção de turbidez, remoção de matéria orgânica e propriedades de reutilização do lodo gerado durante o processo. Outros materiais que geralmente são aplicados para auxiliar a floculação são os polímeros sintéticos, que podem ser orgânicos ou inorgânicos, dentre os quais, destacam-se

aqueles a base de poliacrilamida, ácido poliacrílico, poli (cloreto de dialil dimetil amônio) e poliamina (MEGERSA et al., 2019, p. 319; WAN et al., 2019, p. 29; LIMA JR. e ABREU, 2018, p. 712 - 713).

Possíveis impactos ambientais são constantemente discutidos como consequências da utilização de coagulantes inorgânicos a base de alumínio e de ferro. Altos volumes de lodo, com teores de íons metálicos, inorgânicos, não biodegradáveis e tóxicos, são gerados, causando problemas na hora da destinação final, demandando tratamento posterior. Outro inconveniente é que geralmente coagulantes a base de alumínio, atuam em faixas de pH mais restritas, causando a necessidade da aplicação de produtos químicos para a correção deste parâmetro. Estes dois problemas geram a elevação do custo envolvido no processo. Além disso, vários estudos apontam para os danos causados pela exposição humana ao alumínio, correlacionando-o com doenças neurodegenerativas como Parkinson e Alzheimer (LIMA JR. e ABREU, 2018, p. 713; RIBEIRO, 2015, p. 2).

Em relação ao uso de polímeros sintéticos, estes podem conter contaminantes do processo de produção, incluindo monômeros residuais e subprodutos da reação, que podem ser prejudiciais aos organismos vivos (SILLANPÄÄ, et al, 2018, p. 61). Além da preocupação com a toxicidade de monômeros em solução, faz-se necessário também uma análise de possíveis impactos ambientais das moléculas poliméricas (LIMA JR. e ABREU, 2018, p. 714).

Nesse contexto, torna-se interessante propor alternativas para reduzir os efeitos adversos causados pelos coagulantes químicos. Uma forma de mitigar as dificuldades existentes pode ser a utilização de coagulantes naturais que são rentáveis, podem reduzir os danos ao ambiente e à saúde humana e são tão eficazes como os coagulantes utilizados tradicionalmente (MEGERSA et al., 2019, p. 319; VUNAIM et al., 2019, p. 1).

Vários estudos têm sido realizados visando a produção de coagulantes derivados de biomassa, a fim de desenvolver alternativas aos coagulantes convencionais. Foram investigados como coagulantes ou auxiliares de coagulação, biomateriais provenientes de plantas, espécies marinhas ou organismos microbianos. (SILLANPÄÄ, et al, 2018, p. 61). Alguns dos coagulantes à base de plantas estudados incluem *Moringa oleifera*, *Margaritarea discoidea*, *Maerua subcordata*, *Moringa stenopetala*, *Medicago sativa*, *Dolichos lablab*, *Pennisetum glaucum*, *Quercus robur* e *Opuntia ficus indica*. (MEGERSA et al., 2019, p. 319).

A utilização de coagulantes naturais torna-se vantajosa, pois seu uso não gera subprodutos, os custos envolvidos tornam-se menores, e são materiais que não representam risco à saúde humana. Outras características que favorecem a aplicação deste tipo de material

são a não exigência do controle e da correção de pH, o volume de lodo gerado é muito menor, sendo que o lodo produzido pode ser utilizado para a adubação, por possuir menores teores de substâncias tóxicas e metais, e além disso, a utilização de produtos naturais para a produção de coagulantes, geralmente, não compete com a produção de alimentos (RIBEIRO, 2015, p. 13 - 14).

Com isso, houve um crescente interesse em biocoagulantes, dentre os quais destacam-se as sementes de *Moringa oleífera*, que têm sido aplicadas como coagulante de impurezas presentes na água e em águas residuais, sendo que há cerca de 40 anos estudos científicos vêm sendo realizados sobre o tema, (VUNAIM et al., 2019, p. 1; MOULIN e al., 2019, p. 297).

A semente de *Moringa oleífera* contém proteína solúvel que serve como agente clarificador e desestabiliza as partículas presentes na água. Quando o pó da semente de *Moringa oleífera* é usado, ao misturar-se com a solução a ser tratada, produz proteínas solúveis em água, que possuem carga líquida positiva. A solução age como um polieletrólito catiônico natural que se liga às partículas predominantemente carregadas negativamente (silte, argila, bactérias e outras suspensas em uma forma coloidal) que tornam as águas brutas turvas (ADESINA, 2019, p. 46; VUNAIM et al., 2019, p. 2). Além de serem utilizados como coagulantes, as sementes de moringa apresentam atividade antimicrobiana. O pó obtido da semente pode remover mais de 90% da carga bacteriana de amostras de água bruta (MOULIN e al., 2019, p. 297).

A agregação das impurezas particuladas é o primeiro passo na purificação da água, o que promove a redução de uma grande fração destas partículas e diminui a turbidez, sendo esta etapa essencial para os processos subsequentes de separação gravitacional e filtração. As proteínas das sementes são pequenas, catiônicas e são difíceis de desnaturar em solução, mostrando uma acentuada tendência de se auto associar em solução aquosa, caso a concentração não seja muito baixa. O mecanismo sugerido neste processo envolve a adsorção de proteínas a uma ampla gama de partículas diferentes e isso favorece a associação. Essencialmente, as fortes interações de atração entre as moléculas são transferidas para as partículas que são cobertas com proteínas. Isso permite a coagulação e heterocoagulação eficazes de uma ampla gama de impurezas particuladas (MOULIN e al., 2019, p. 297).

A eficiência do coagulante natural obtido a partir das sementes de *Moringa oleífera* no tratamento de águas residuais depende do método aplicado em sua preparação. Em geral, estudos demonstraram que os coagulantes naturais preparados por fracionamento de proteínas exibem melhor desempenho, contudo, o pó obtido por meio da moagem das sementes

apresenta uma maior facilidade na preparação e, portanto, passível de aplicação em diversos ambientes, sejam urbanos ou rurais (VUNAIM et al., 2019, p. 2).

Assim, nas aplicações mais tradicionais, se emprega a forma pulverizada das sementes de moringa, e em alguns casos específicos, aplica-se o óleo extraído delas. Com isso, mesmo com a eficácia estabelecida em termos da redução de turbidez e de bactérias, as investigações sobre o desenvolvimento do processo, e otimização da quantidade do material necessário para o tratamento de água, são importantes e têm sido realizadas (MOULIN e al., 2019, p. 297).

Neste sentido, o objetivo geral do trabalho foi verificar a eficiência da semente da *Moringa oleífera* como coagulante no tratamento da água oriunda da lavagem de automóveis, no município de Sumé-PB e comparar o seu desempenho com o alcançado quando se aplicou o coagulante químico sulfato de alumínio. Além disso, objetivou-se aplicar o planejamento fatorial, para avaliar se os fatores tempo de tratamento e quantidade de coagulante teriam influência sobre as respostas pH, condutividade elétrica e turbidez.

METODOLOGIA

Amostras das sementes de moringa (*Moringa oleífera*) foram coletadas nas dependências do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar (CCTA), da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), campus de Pombal-PB, conforme apresentando na Fig. 1. As sementes foram devidamente separadas das vagens (fruto), logo em seguida retiradas suas cascas e então pulverizadas em moinho de facas tipo Willey macro - Tn650/1 com peneira, gerando partículas com diâmetro entre de 0,25 e 0,53 μm . O processo de moagem das sementes foi realizado no Laboratório de Solos (Lasol), na UFCG, no Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido (CDSA), campus Sumé-PB.



Figura 1 – Sementes da *Moringa oleífera* antes da moagem

Em seguida, amostras de água provenientes da lavagem de automóveis foram coletadas no Lavajato Sumeense, na cidade de Sumé-PB, conforme apresentado na Fig. 2. Essas amostras foram armazenadas em galões de água mineral de 20 litros, previamente lavados, permitindo assim a preservação das propriedades físico-químicas das amostras que foram avaliadas em tempo de até 24 horas após a coleta, como estabelecido pelo protocolo de análises de águas, descrito por Oliveira e Silva (2006).



Figura 2 – Processo de coleta do efluente gerado na lavagem de automóveis

Os ensaios de tratamento do efluente foram conduzidos em garrafas PET, conforme apresentado na Fig. 3, sendo utilizado como coagulante químico o Sulfato de Alumínio em pó ($Al_2(SO_4)_3$) e em solução diluída, e como coagulante natural sementes de moringa descascadas e trituradas em moinho de facas, na forma de solução preparada na proporção de 20 gramas (g) de sementes para 1 litro (L) de água destilada.



Figura 3 – Ensaios de tratamento das amostras de 1 L de água, obtidas no processo de lavagem de automóveis.

Para realização dos testes, aplicou-se o planejamento experimental com dois fatores e três repetições no ponto central, visando verificar a influência das variáveis de entrada, tempo

de tratamento e quantidade de coagulante, sobre as respostas turbidez, pH e condutividade elétrica. Os fatores avaliados e seus respectivos níveis, reais e codificados, encontram-se dispostos Tabela 1.

Tabela 1 - Matriz de planejamento com níveis reais e codificados das variáveis independentes

Ensaio	Níveis codificados	Tempo de processo	Quantidade de coagulante	
			Solução	Pó
1	-1	30 min	20 mL	0,050 g
2	+1	210 min	20 mL	0,050 g
3	-1	30 min	100 mL	0,100 g
4	+1	210 min	100 mL	0,100 g
5	0	120 min	60 mL	0,075 g
6	0	120 min	60 mL	0,075 g
7	0	120 min	60 mL	0,075 g

Alíquotas das amostras de água, antes e após os tratamentos, foram coletadas para realização das determinações físico químicas. As análises físico-químicas das amostras, foram realizadas no Laboratório de Qualidade de Água (LQA), no CDSA da UFCG.

Para determinar o pH, inicialmente realizou-se a calibração do pHmetro (Quimis) com soluções tampão padrão de pH 4,0 e 7,0. Em seguida, os eletrodos foram inseridos nas amostras de água para leitura do pH e os dados foram registrados.

Para a determinação da condutividade elétrica das amostras de água, foi utilizado um condutivímetro (MS TECNOPON). Seus eletrodos foram devidamente lavados e após a calibração, foram imersos nas amostras de água, com isso os valores de condutividade foram coletados.

A turbidez foi medida através do turbidímetro (MS TECNOPON), comparando-se o espalhamento de um feixe de luz ao passar pela amostra com o espalhamento de um feixe de igual intensidade ao passar por uma suspensão padrão. Assim, coletou-se os dados referentes a este parâmetro para cada uma das amostras.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos a partir das análises físico-químicas, na determinação do pH, condutividade elétrica (σ) e turbidez, das amostras de efluente de lava jato, antes (B) e após os ensaios de tratamento, com as três formas de coagulantes aplicados, encontram-se disponíveis na Tabela 2.

Tabela 2 - Resultados das análises obtidos antes e após a etapa de tratamento das amostras

Ensaio	Sementes em solução			Sulfato em solução			Sulfato em pó		
	pH	σ ms/cm	Turbidez NTU	pH	σ ms/cm	Turbidez NTU	pH	σ ms/cm	Turbidez NTU
B	7,30	0,33	839	7,98	0,35	1068	7,79	0,36	1115
1	7,20	0,34	181	2,74	4,78	178	7,07	0,37	237
2	7,30	0,34	54	2,75	4,74	39	7,11	0,37	53
3	6,97	0,36	225	2,19	16,21	171	6,73	0,38	201
4	6,95	0,33	49	2,21	16,21	46	6,80	0,37	45
5	7,28	0,29	97	2,36	11,11	77	6,67	0,39	91
6	7,36	0,35	95	2,39	10,18	71	6,85	0,38	112
7	7,33	0,34	94	2,34	10,62	68	6,81	0,38	99

Avaliando os resultados obtidos para a condutividade das amostras de água tratada, comparando-se com os valores observados nas amostras de água bruta, foram verificadas poucas alterações, ao utilizar os coagulantes natural em solução e químico em pó, em todos os ensaios. Porém, ao aplicar o coagulante químico em solução, foram verificados grandes aumentos neste parâmetro, alcançando-se o valor de 16,21 ms/cm, nos ensaios 3 e 4.

Conforme descrito em Brasil (2014), a condutividade elétrica da água indica a sua capacidade em transmitir corrente elétrica em função da presença de substâncias dissolvidas, que podem se dissociar em ânions e cátions, com isso, quanto maior a concentração de íons em solução, maior deve ser a capacidade em conduzir corrente elétrica. Neste sentido, é possível propor que as alterações na condutividade das amostras tratadas aplicando o coagulante químico em solução, podem ter ocorrido devido a adição do íon alumínio ao meio, fazendo com que à presença do alumínio residual na água, tenha gerado o aumento, principalmente nos ensaios onde o volume aplicado foi o maior (LOPES, 2014, p. 33).

Em relação aos valores de pH, foram verificadas pequenas alterações, ao serem aplicados as sementes de moringa em solução e o sulfato em pó, e uma grande redução ao utilizar o sulfato em solução, sendo, neste caso, alcançados valores entre 2,19 e 2,75, para todos os ensaios. Segundo Rosalino (2011), quando o agente coagulante é adicionado na água ocorre uma série de reações de hidrólise que proporcionam o aumento do teor de íons H^+ e consequentemente diminuem o pH. Além disso ocorre o aumento da dificuldade na formação de mais precipitado. Nestes casos, o valor do pH deve ser regulado pela presença de alguma substância alcalina, o que poderá influenciar diretamente o processo de coagulação, em particular na remoção da matéria orgânica natural e de substâncias químicas orgânicas sintéticas.

Os resultados obtidos na aplicação dos coagulantes para a remoção da turbidez permitiram verificar um redução de 96,35% quando foi utilizado o sulfato de alumínio em solução, para um tempo de 220 minutos (3,5 horas) e um volume de 20 mL. Na aplicação do sulfato em pó (granulado) foi possível obter uma redução de 95,96% da turbidez, para um tempo de 220 minutos e 0,5 g de sulfato de alumínio. Já para a solução de sementes de moringa, a redução da turbidez foi de 94,16% , também para um tempo de 220 minutos (3,5 horas), utilizando 100 mL de solução. É possível verificar que os maiores percentuais de redução foram alcançados nos ensaios onde o tempo de tratamento foi o maior.

Keogh et al. (2017) alcançaram 85% de redução da turbidez de amostras de água bruta, utilizando a moringa em forma de pó, para um tempo de 24 horas. Paula et al. (2014), também aplicaram as sementes de moringa no tratamento de amostras de água bruta e afirmaram que um tempo de tratamento mais prolongado se faz necessário para que ocorra a liberação das proteínas catiônicas ativas responsáveis pelo efeito do coagulante.

Por meio da realização da análise estatística dos resultados, considerando-se um nível de confiança de 95%, foi possível confirmar quais fatores exerceram influência sobre as respostas, ou seja, quais foram estatisticamente significativos.

Como forma de facilitar a compreensão de como os fatores podem influenciar as repostas e quais são mais importantes, foram construídos os diagramas de Pareto para todos os coagulantes aplicados e parâmetros físico-químicos avaliados. Este tipo de diagrama é um recurso utilizado na análise estatística que permite apresentar os resultados em uma ordem hierárquica, ajudando a identificar e avaliar quais parâmetros e interações são mais significativas sobre cada variável de resposta estudada (SILVA et al., 2015, p.3).

Nas Figs. 4 (a), (b) e (c), encontram-se os diagramas de Pareto dos efeitos padronizados em $p = 0,05$, para o pH, condutividade e turbidez, respectivamente, nos ensaios realizados aplicando o coagulante natural a base de sementes de moringa.

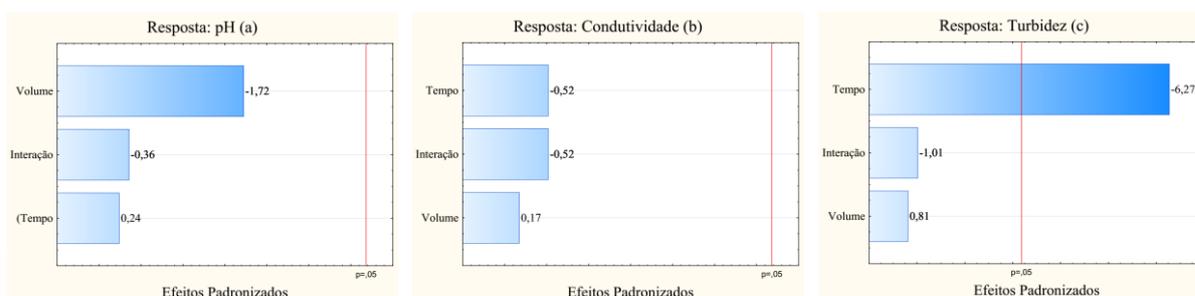


Figura 4 – Diagramas de Pareto para os efeitos padronizados em $p = 0,05$, para as repostas pH (a), condutividade (b) e turbidez (c), aplicando o coagulante natural.

Avaliando os diagramas de Pareto e os valores dos efeitos dos fatores, verifica-se que apenas o tempo foi estatisticamente significativo sobre a resposta turbidez, sendo que este efeito foi negativo, o que representa que um aumento do período de tratamento pode permitir a redução da turbidez, gerando uma água tratada com menor teor de sólidos em suspensão.

Nas Figs. 5 (a), (b) e (c), encontram-se os diagramas de Pareto dos efeitos padronizados, para todas as respostas, aplicando o sulfato de alumínio em solução.

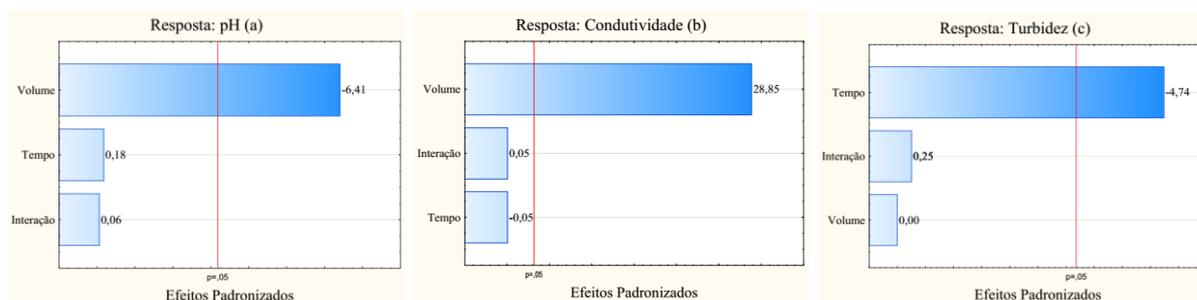


Figura 5 – Diagramas de Pareto para os efeitos padronizados em $p = 0,05$, para as repostas pH (a), condutividade (b) e turbidez (c), aplicando o sulfato em solução.

Avaliando os diagramas de Pareto e os valores dos efeitos, verifica-se que o volume de solução foi um fator estatisticamente significativo sobre as repostas pH e condutividade. O efeito foi negativo para o pH, o que representa que um maior volume irá gerar a redução do parâmetro, gerando uma água tratada com maior acidez. Em relação a condutividade o efeito foi positivo, o que permite afirmar que o aumento do volume de coagulante irá produzir uma água tratada com maior condutividade elétrica. As causas para estas alterações nos parâmetros foram explicadas anteriormente, quando os resultados contidos na Tabela 2 foram apresentados.

Ao avaliar o efeito dos fatores sobre a turbidez, verifica-se que o tempo foi estatisticamente significativo e que o valor observado também foi negativo, assim como o obtido na análise estatística dos resultados para os ensaios realizados aplicando o coagulante natural, portanto, um maior tempo de tratamento irá proporcionar uma maior redução na turbidez do efluente a ser tratado.

Nas Figs. 6 (a), (b) e (c), encontram-se os diagramas de Pareto dos efeitos padronizados em $p = 0,05$, para o pH, condutividade e turbidez, respectivamente, nos ensaios realizados aplicando o sulfato de alumínio em pó como coagulante.

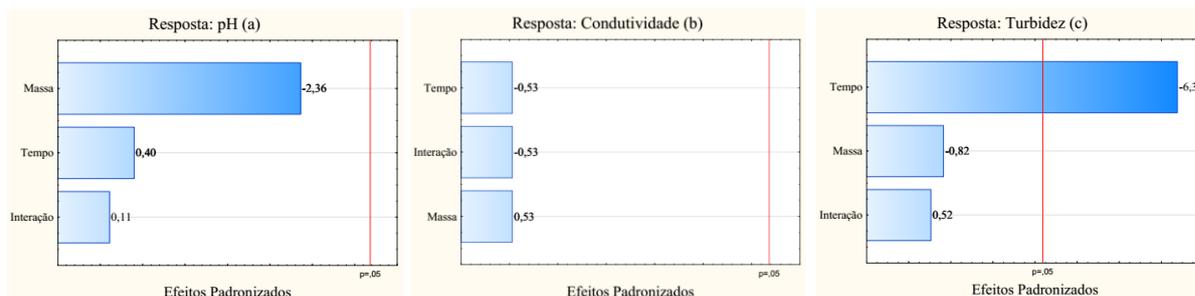


Figura 6 – Diagramas de Pareto para os efeitos padronizados em $p = 0,05$, para as repostas pH (a), condutividade (b) e turbidez (c), aplicando o sulfato em pó como coagulante.

Para o coagulante químico em pó, ao avaliar os diagramas de Pareto, verifica-se que apenas o tempo foi estatisticamente significativo sobre a resposta turbidez, sendo este efeito, novamente negativo, o que representa que um aumento do período de tratamento irá permitir uma maior redução da turbidez.

Assim, em virtude dos resultados obtidos, e utilizando a análise estatística como ferramenta, fica comprovado que, ao tratar o efluente gerado no processo de lavagem de veículos, há possibilidade da substituição do coagulante convencional, sulfato de alumínio, pelo coagulante natural obtido a partir das sementes de *Moringa oleifera*.

O coagulante natural proporcionou, em média, 94,16% de remoção da turbidez, o que representa uma diferença de apenas 2%, quando comparado com os resultados obtidos aplicando o sulfato de alumínio, o qual é responsável por produzir um lodo inorgânico, que pode ser corrosivo, devido a redução no pH. Ademais, a aplicação da moringa, por se tratar de um produto natural e biodegradável, pode ser considerada uma alternativa eficiente que possibilita o reuso da água havendo uma economia em relação ao custo do produto e também a redução dos impactos ambientais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para as condições estudadas, é possível afirmar que as sementes de *Moringa oleifera*, em solução, podem ser aplicadas como coagulante no tratamento de águas provenientes da lavagem de veículos, reduzindo os teores de turbidez em até 95%, valores semelhantes aos obtidos com o coagulante químico, gerando a possibilidade de uso alternativo dessas águas em aplicações não potáveis, com a vantagem de ser um produto natural de baixo custo, boa disponibilidade e sem promover alterações significativas no pH e na condutividade elétrica das amostras.

Por meio da aplicação do planejamento fatorial, e da análise estatística dos resultados, pode-se afirmar que, para as condições aplicadas, a variável tempo apresenta efeito sobre a turbidez, independente da quantidade de coagulante aplicada, sendo comprovado que um maior tempo de tratamento proporciona uma maior redução da turbidez, para todos os coagulantes aplicados. Verificou-se também que para o coagulante químico em solução, o aumento do volume gera alterações nos parâmetros pH e condutividade elétrica, sendo observados a redução e o aumento, respectivamente, devido ao aumento de íons em solução.

REFERÊNCIAS

ADESINA, O. A., ABDULKAREEM, F., YUSUFF, A., LALA, M., OKEWALE, A. Response Surface Methodology Approach to Optimization of Process Parameter for Coagulation Process of Surface Water using *Moringa oleifera* Seed. **South African Journal of Chemical Engineering**, v. 28, ps. 46 – 51, 2019.

BOLUARTE, I. A. R., ANDERSEN, M., PRAMANIK, B. K., CHANG, C.-Y., BAGSHAW, S., FARAGO, L., JEGATHEESAN, V. SHU, L. Reuse of car wash wastewater by chemical coagulation and membrane bioreactor treatment processes. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 113, ps. 44 – 48, 2016.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. – Brasília, Funasa, 112 p., 2014.

CARVALHO, N. L., HENTZ, P., SILVA, J. M., BARCELLOS, A. L. Reutilização de águas residuárias. **REMOA**, v. 14, n. 2, p. 3164 – 3171, 2014.

CHEN, S., YUAN, Z., HANIGAN, D., WESTERHOFF, P., ZHAO, H., & NI, J. Coagulation behaviors of new covalently bound hybrid coagulants (CBHyC) in surface water treatment. **Separation and Purification Technology**, v. 192, ps. 322–328, 2018.

DE GOIS, E. H. B., RIOS, C. A. S., & COSTANZI, R. N. Evaluation of water conservation and reuse: a case study of a shopping mall in southern Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 96, ps. 263–271, 2015.

DORIGON, E. B., TESSARO, P. Caracterização dos efluentes da lavagem automotiva em postos de atividade exclusiva na região AMAI – Oeste catarinense. **Unoesc & Ciência – ACBS**, v. 1, n. 1, ps. 13-22, 2010.

GÖNDER, Z. B., BALCIOĞLU, G., VERGILI, I., & KAYA, Y. Electrochemical treatment of carwash wastewater using Fe and Al electrode: Techno-economic analysis and sludge characterization. **Journal of Environmental Management**, v.200, ps. 380 – 390, 2017.

HARTLEY, K., TORTAJADA, C., & BISWAS, A. K. A formal model concerning policy strategies to build public acceptance of potable water reuse. **Journal of Environmental Management**, v. 250, ps. 109 - 119, 2019.

KEOGH, M. B., ELMUSHARAF, K., BORDE, P., MCGUIGAN, K. G. Evaluation of the natural coagulant *Moringa oleifera* as a pretreatment for SODIS in contaminated turbid water. **Solar Energy** 158, 448-454, 2017.

LAU, W. J., ISMAIL, A. F., & FIRDAUS, S. Car wash industry in Malaysia: Treatment of car wash effluent using ultrafiltration and nanofiltration membranes. **Separation and Purification Technology**, v.104, ps. 26–31, 2013.

LIMA JÚNIOR, R. N., ABREU, F. O. M. S. Produtos Naturais Utilizados como Coagulantes e Flocculantes para Tratamento de Águas: Uma Revisão sobre Benefícios e Potencialidades. **Revista Virtual de Química**, v. 10, n. 3, ps. 709-735, 2018.

LOPES, B. V. **Eficiência de Coagulantes na Remoção de Diferentes Concentrações de Ferro e Manganês para ETA Terras Baixas**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas RS, 2014.

MEGERSA, M., GACH, W., BEYENE, A., AMBELU, A., & TRIEST, L. Effect of salt solutions on coagulation performance of *Moringa stenopetala* and *Maerua subcordata* for turbid water treatment. **Separation and Purification Technology**, v. 221, ps. 319–324, 2019.

MOULIN, M., MOSSOU, E., SIGNOR, L., KIEFFER-JAQUINOD, S., KWAAMBWA, H. M., NERMARK, F., ... RENNIE, A. R. (2019). Towards a molecular understanding of the water purification properties of *Moringa* seed proteins. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 554, ps. 296 – 304, 2019.

NETO, L. C. G., SENNA, L. B., SANTOS, P. D. D., NASCIMENTO, P. R. A. Análise dos Impactos Ambientais na Lavagem de Automóveis. **Anais do XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, v.1, ps. 1 – 18, 2015.

OLIVEIRA R. DE, SILVA, S. A. **Manual de Análises Físico Químicas de Águas de Abastecimento e Residuárias**. 1ª edição, Rio de Janeiro: ABES, 266 p., 2006.

PAULA, H. M. de. ILHA, M. S. de O. ANDRADE, L. S. Concrete plant wastewater treatment process by coagulation combining aluminum sulfate and *Moringa oleifera* powder. **Journal of Cleaner Production**, v. 76, ps. 125 - 130, 2014.

REZENDE, A. T. **Reúso Urbano de Água Para Fins não Potáveis no Brasil**. Trabalho de conclusão de curso. Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora – MG, 2016.

RIBEIRO, I. **Aplicação de Coagulantes e Flocculantes Orgânicos Alternativos no Pós-Tratamento de Efluente de Laticínio**. Trabalho de conclusão de curso. Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira – PR, 2015.

ROSA, L. G.; SOUSA, J. T.de.; LIMA, V. L. A. de.; ARAUJO, G. H.; SILVA, L. M. A. da.; LEITE, V. D. Caracterização de águas residuárias oriundas de empresas de lavagem de veículos e impactos ambientais. **AmbiÁgua**, v. 6, n. 3, p. 179-199, 2011.

ROSALINO, M. R. R. **Potenciais Efeitos da Presença de Alumínio na Água de Consumo Humano**. Dissertação de Mestrado - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa – Lisboa – 2011.

SANTANA, M. V. E., CORNEJO, P. K., COROMINAS, L., RODRÍGUEZ-RODA, I., & BUTTIGLIERI, G. Holistic life cycle assessment of water reuse in a tourist-based community. **Journal of Cleaner Production**. v.233, ps. 743-752, 2019.

SILLANPÄÄ, M., NCIBI, M. C., MATILAINEN, A., & VEPSÄLÄINEN, M. Removal of natural organic matter in drinking water treatment by coagulation: A comprehensive review. **Chemosphere**, v. 190, ps. 54–71, 2018.

SILVA, M. do S. B., DANTAS, S. L. de A., BARILLAS, J. L. M, DUTRA JR., T. V. Planejamento Experimental para Análise de Parâmetros Utilizados da Injeção de Polímeros em Reservatório de Petróleo. **Anais do CONEPETRO**, v.1, 2015.

VUNAIN, E., MASOAMPHAMBE, E. F., MPEKETULA, P. M. G., MONJEREZI, M., & ETALE, A. Evaluation of coagulating efficiency and water borne pathogens reduction capacity of Moringa oleifera seed powder for treatment of domestic wastewater from Zomba, Malawi. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 7, ps. 103 – 118, 2019.

WAN, Y., HUANG, X., SHI, B., SHI, J., & HAO, H. Reduction of organic matter and disinfection byproducts formation potential by titanium, aluminum and ferric salts coagulation for micro-polluted source water treatment. **Chemosphere**, v. 219, ps. 28 – 35, 2018.