

AVALIAÇÃO DO COAGULANTE NATURAL DE FÉCULA DE BATATA E SEU CONSÓRCIO COM POLICLORETO DE ALUMÍNIO NO TRATAMENTO DE ÁGUA

EVALUATION OF NATURAL COAGULANT OF POTATO STARCH AND ITS CONSORTIUM WITH POLYCHLORIDE OF ALUMINUM IN WATER TREATMENT

TAYNARA BASSO **VIDOVIX**¹, ALINE TAKAOKA ALVES **BAPTISTA**², LUÍS FERNANDO **CUSIOLI**³, HELOISE BEATRIZ **QUESADA**⁴, CHARLESTON DE OLIVEIRA **BEZERRA**⁵, ALEXANDRE **BOTARI**⁶

1. Mestranda em Engenharia Química na Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná, Brasil; 2. Pós doutoranda em Engenharia Química na Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná, Brasil; 3. Doutorando em Engenharia Química na Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná, Brasil; 4. Mestranda em Engenharia Química na Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná, Brasil. 5. Doutorando em Engenharia Química na Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná, Brasil. 6. Docente na Universidade Estadual de Maringá, Umuarama, Paraná, Brasil.

*Avenida Colombo, 5790, Zona 07, Maringá, Paraná, Brasil. CEP 87020-900. alinetakaoa_17@hotmail.com

Recebido em 19/02/2018. Aceito para publicação em 05/03/2018

RESUMO

É indispensável o estudo de tecnologias viáveis para o tratamento adequado da água. Uma alternativa para regiões inacessíveis à água potável, é a utilização de coagulantes naturais, podendo ser usados também em consórcios com coagulantes primários, comumente empregados em estações de tratamento de água. A finalidade é reduzir custos, salientar a preocupação ambiental e a preocupação com a saúde da população. O presente trabalho avaliou a eficiência da Fécula de Batata como coagulante natural e em associação com o coagulante químico Policloreto de Alumínio (PAC). Os ensaios foram realizados em equipamento Jar-test, simulando a coagulação/floculação/sedimentação de água preparada em laboratório. Logo, o parâmetro usado para a análise da eficiência foi a turbidez remanescente nos jarros. Averiguou-se que a Fécula de Batata como coagulante apresentou remoção de turbidez em torno de 58%, ao passo que, quando empregada nos consórcios com o PAC apresentou remoção de 99% em termos de turbidez.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de água, fécula de batata, coagulante natural.

ABSTRACT

It is indispensable to study viable technologies for the proper treatment of water. An alternative for regions inaccessible to drinking water is the use of natural coagulants and can also be used in consortia with primary coagulants commonly used in water treatment plants. The purpose is to reduce costs, highlight the environmental concern and concern for the health of the population. The present work evaluated the efficiency of the Potato Starch as a natural coagulant and in association with the chemical coagulant Aluminum Polychloride (PAC). The tests were carried out in Jar-test equipment, simulating the coagulation / flocculation / sedimentation of water prepared in the laboratory. Therefore, the parameter used for efficiency

analysis was the turbidity remaining in the jars. It was found that the potato starch as a coagulant showed turbidity removal around 58%, whereas when used in the consortium with the PAC it was 99% removal in terms of turbidity.

KEYWORDS: Water treatment, potato starch, natural coagulant.

1. INTRODUÇÃO

A água é elemento fundamental para a existência de vida e recurso natural de valor incomensurável, além de indispensável para a manutenção dos ciclos biológicos, geológicos e químicos que mantêm o equilíbrio do meio ambiente¹. Portanto, a água é essencial à manutenção da vida, devendo estar disponível em quantidade e qualidade suficiente para abastecer a população mundial². A água bruta contém vários compostos do próprio ambiente natural ou ainda introduzidos a partir das atividades humanas. Assim sendo, vale ressaltar que o excesso de impurezas na água pode causar sérios danos à saúde humana e às suas atividades econômicas. Para isso, torna-se necessário que este elemento atenda aos padrões de potabilidade, sendo imprescindível o tratamento de água destinado ao consumo humano^{3,4}.

Os métodos de tratamento de água podem englobar desde a simples fervura até sistemas completos que contemplem a coagulação, floculação, sedimentação, filtração e cloração⁵. Os coagulantes empregados para o tratamento de águas e efluentes são predominantemente sais de ferro e alumínio, sendo estes os mais utilizados no tratamento de águas para abastecimento público⁶. Tendo em vista que ainda existem diversos locais que carecem de fontes adequadas de água, torna-se interessante o desenvolvimento de técnicas alternativas de tratamento de água, a fim de tentar minimizar esse impac-

se⁷.

No que se refere ao aspecto econômico, tem-se uma problemática relacionada ao custo elevado das técnicas utilizadas para tratamento correto, tornando-se desta forma, inacessíveis para as comunidades mais carentes. Outro fator a ser levado em consideração, é o teor de alumínio residual após o tratamento com coagulantes químicos⁸. Isso porque, existe uma forte suspeita de que a presença de um residual de alumínio na água de abastecimento público possa estar ligada a diversas doenças neurodegenerativas, como a doença de Alzheimer^{9,10}. Uma alternativa aos coagulantes químicos sintéticos, como os sais de ferro e alumínio são os coagulantes naturais que se apresentam como uma alternativa muito interessante e simples, com o objetivo de diminuir os custos financeiros, oferecer maior segurança à saúde pública e proporcionar um lodo que pode ser facilmente degradado, reduzindo, portanto, o impacto no meio ambiente¹¹.

Dessa forma, o presente trabalho teve como propósito a utilização da Fécula de Batata como coagulante natural e em consórcio com coagulante químico PAC para a clarificação de água, apresentando-se como um recurso simples que possibilita um método alternativo de tratamento de água para regiões mais afastadas e comunidades carentes de abastecimento de água.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios de coagulação, floculação e sedimentação, bem como os ensaios de produção e caracterização da amostra de água sintética foram desenvolvidos no Laboratório de Poluição da Universidade Estadual de Maringá, Campus Umuarama – Paraná.

Preparo e caracterização da amostra de água sintética

Água bruta sintética foi preparada a partir de uma suspensão-mãe de caulinita (tipo de argila) com a finalidade de obter-se uma turbidez de aproximadamente 30 uT. Para isso, pesou-se 10 gramas de caulinita para 1 litro de água tratada, pela concessionária Sanepar (Companhia de Saneamento do Paraná - Unidade de Umuarama). Após isso, esperou-se 24 horas para que todo o corpo de fundo sedimentasse, e então mediu-se a turbidez deste ensaio, por meio de um turbidímetro (modelo MS TecnoPON). Neste sentido, foi produzido uma água de turbidez próxima de 30 uT para uma caixa d'água com volume de 310 litros. Vale destacar que, também foi adicionado uma alíquota de coliformes fecais, provenientes de água coletada do Lago Aratimbó (localizado no município de Umuarama – Paraná). Além disso, havia neste sistema a presença de uma bomba no fundo da caixa d'água, cuja função era a homogeneização da amostra e sua recirculação. Logo após a produção da água bruta realizou-se imediatamente a caracterização

da mesma por meio de análises de pH (pHmetro/MS TecnoPON), turbidez em uT (Turbidímetro/MS TecnoPON) e alcalinidade em mg CaCO₃/L de acordo com Standard Methods (1998)¹².

Preparo das Soluções Coagulantes de Policloreto de Alumínio (PAC) e Fécula de Batata

O PAC utilizado para os ensaios foi concedido pela Sanepar, apresentando 18% de pureza à uma concentração de 7333,33 mg/L. Para os ensaios foi feita diluição, visando obter uma concentração final de PAC de 2 g/L.

Já a solução coagulante de Fécula de Batata, foi preparada diluindo-se 20 g de fécula (adquirida em comércio de produtos naturais) em 1 L de água destilada (20 g/L) com o auxílio de um agitador magnético (MA085 – MARCONI) durante 10 minutos, aproximadamente.

Ensaios em Jar-test

Na obtenção da dosagem ótima da Fécula de Batata, de PAC e do Consórcio (Fécula de Batata + PAC), os ensaios de coagulação/floculação/sedimentação foram realizados em um equipamento Jar-test, Nova Ética – Modelo 218/LDB 06, composto de seis provas, com regulador digital de rotação das hastes. As condições operacionais do Jar test foram de tempo de mistura rápida de 10 segundos, com gradiente de mistura rápida de 450 rpm, gradiente de floculação de 32 rpm e tempo de sedimentação de 2 minutos e 48 segundos¹³. Para a avaliação da eficiência dos processos de coagulação/floculação/sedimentação foram coletadas as amostras logo após o tempo de sedimentação e posteriormente foram determinados em triplicata os parâmetros de turbidez, segundo procedimento recomendado pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater¹².

Para a obtenção das condições ótimas para o coagulante PAC foram realizados 5 ensaios, sendo as variáveis: concentração da solução coagulante, pH e tempo de floculação. Importante mencionar que para o ajuste do pH foram utilizados ácido clorídrico (HCL 0,1 N) e hidróxido de sódio (NaOH 0,1 N), objetivando alcançar os valores de pH desejados (5,5; 6,5; 8,5 e 9,5). Os ensaios 1, 2 e 3 tiveram a finalidade de promover a concentração ótima da solução coagulante, para sucessivamente nos ensaios 4 e 5, verificar o pH e o tempo de floculação que proporcionassem melhores resultados para a concentração já analisada.

Na obtenção da condição ótima para a Fécula de Batata, realizou-se um processo similar ao PAC, sendo as variáveis, nesse caso, a concentração da solução coagulante e tempo de floculação, optando-se pela não variação do pH, devido a falta de informações sobre este coagulante. Desta forma, os ensaios 1, 2 e 3 foram realizados para averiguar a concentração ótima da solução co-

agulante e os ensaios 4 e 5 para investigar o tempo de floculação que proporcionasse melhores resultados para a concentração já estudada.

Por fim, foram realizados os ensaios para os consórcios de PAC + Fécula de Batata. Para isso, inicialmente, definiu-se 3 consórcios a serem realizados, sendo eles: 75%, 50% e 25% de PAC + Fécula de Batata, executando-se 2 ensaios para cada consórcio. As combinações adotadas ao longo dos procedimentos de consórcio baseou-se nos resultados obtidos com os primeiros ensaios de cada coagulante, separadamente. De forma geral, para o consórcio de 75%, por exemplo, adicionou-se 75% da dosagem ótima de solução coagulante de PAC mais a série ótima de solução coagulante de Fécula de Batata, com a finalidade de obter ao final dos ensaios, a dosagem ótima de Fécula de Batata utilizando-se apenas 75% da dosagem ótima da solução coagulante de PAC.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização da água bruta sintética

A partir da caracterização da água bruta sintética, verificou-se pH de 7,46, turbidez de 34,6 uT e alcalinidade de 7,0 mgCaCO₃/L. Por meio desta caracterização pode-se concluir que os valores de turbidez da amostra bruta atendem aos pressupostos de simular um corpo d'água destinado ao abastecimento para consumo humano, pois, de acordo com Resolução CONAMA nº 357/2005, o valor limite de turbidez é de até 40 UNT.

Tabela 1. Resultados dos ensaios para o Policloreto de Alumínio.

	pH	Tempo de Floculação	Concentração da solução coagulante	Turbidez (uT)
Ensaio 1	-	15 min	Jarro 1: 5 mg/L	16,90
			Jarro 2: 10 mg/L	20,40
			Jarro 3: 15 mg/L	21,70
			Jarro 4: 20 mg/L	22,10
			Jarro 5: 25 mg/L	24,70
			Jarro 6: 30 mg/L	27,90
Ensaio 2	-	15 min	Jarro 1: 0,2 mg/L	0,93
			Jarro 2: 0,4 mg/L	11,30
			Jarro 3: 0,6 mg/L	13,60
			Jarro 4: 0,8 mg/L	13,90
			Jarro 5: 1,0 mg/L	15,20
			Jarro 6: 1,2 mg/L	16,40
Ensaio 3	-	15 min	Jarro 1: 0,05 mg/L	16,80
			Jarro 2: 0,10 mg/L	1,55
			Jarro 3: 0,15 mg/L	0,64
			Jarro 4: 0,20 mg/L	1,62
			Jarro 5: 0,25 mg/L	9,80
			Jarro 6: 0,30 mg/L	13,50
Ensaio 4	Jarro 1: 5,5	20 min	Jarro 1: 0,15 mg/L	13,70
	Jarro 2: 6,5		Jarro 2: 0,15 mg/L	0,85
	Jarro 3: 7,5		Jarro 3: 0,15 mg/L	0,51
	Jarro 4: 8,5		Jarro 4: 0,15 mg/L	0,33
	Jarro 5: 9,5		Jarro 5: 0,15 mg/L	12,50
Ensaio 5	Jarro 1: 5,5	25 min	Jarro 1: 0,15 mg/L	10,80
	Jarro 2: 6,5		Jarro 2: 0,15 mg/L	0,83
	Jarro 3: 7,5		Jarro 3: 0,15 mg/L	0,72
	Jarro 4: 8,5		Jarro 4: 0,15 mg/L	0,34
	Jarro 5: 9,5		Jarro 5: 0,15 mg/L	12,00

Ensaios com policloreto de alumínio (PAC)

Ao final de cada ensaio com o PAC realizou-se a medição da turbidez final da amostra sendo os valores expressos na Tabela 1.

Ao analisar a Tabela 1, foi possível verificar uma grande variação nos valores encontrados para a turbidez, em função das alterações de concentração do coagulante e do pH. Assim, o melhor resultado de concentração obtido foi de 0,15 mg/L no pH de 8,5 e tempo de floculação de 20 minutos atingindo uma turbidez residual de 0,33 uT. A partir disso, ficou evidente a eficiência do PAC, mesmo em concentrações baixas (inferiores a 1 mg/L) o que está de acordo com Yarahmadi *et al.*, (2009)¹⁴ que menciona como vantagem no uso do coagulante PAC o fato de se necessitar de uma menor dosagem para atingir melhores remoções. Os dados mencionados na Tabela 1 foram expressos em forma de gráficos (Figura 1), para facilitar a compreensão e entendimento dos resultados.

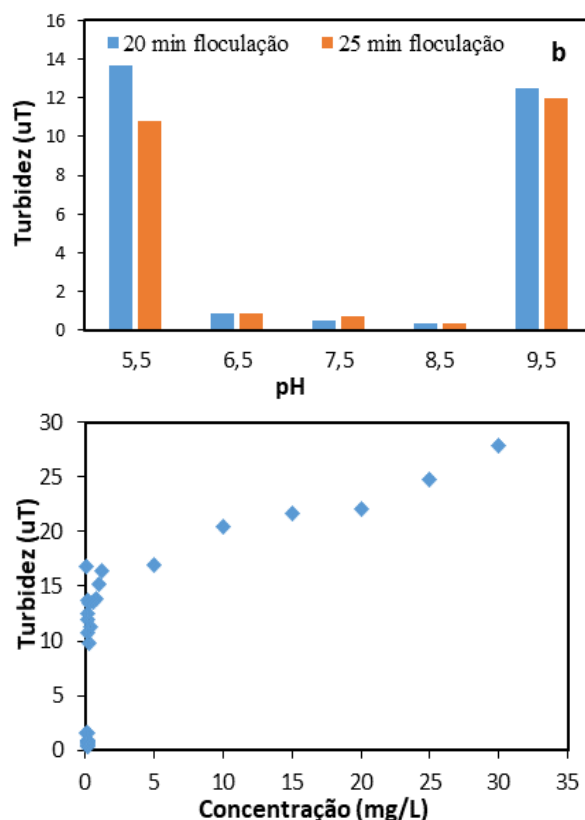


Figura 1. Turbidez residual após utilização do coagulante PAC em diferentes concentrações e tempo de floculação de 15 minutos (a) e turbidez residual na concentração de 0,15 mg/L de PAC em diferentes pHs nos tempos de floculação de 20 e 25 minutos.

Por meio da Figura 1 (a) foi possível verificar uma tendência de remoção da turbidez, pois quanto maior a quantidade de coagulante utilizada, menor foi a remoção verificada, gerando assim uma maior

turbidez residual. As menores concentrações de PAC, valores inferiores a 1 mg/L, apresentaram-se com melhor desempenho na coagulação, sendo que o acréscimo de coagulante influenciou negativamente a remoção de turbidez. Este comportamento pode estar relacionado ao fato de que haja uma concentração máxima no uso do mesmo¹⁵. Nos casos em que foram utilizadas dosagens acima deste limite máximo, ocorreu um excesso de coagulante se comparado aos compostos a serem tratados presentes na água, provocando um aumento na turbidez, além da não remoção. Com relação a influência do pH na remoção de turbidez, Figura 1 (b), os resultados verificados são condizentes com a literatura, uma vez que, a eficácia do PAC se mostrou elevada em uma ampla faixa de pH de 6,5 a 8,5¹⁶.

Apesar do desempenho e custo-eficácia comprovados do PAC, há ainda uma problemática acerca de sua utilização, devido ao teor de alumínio residual presente nas águas após o tratamento. Pesquisas desenvolvidas na China, Estados Unidos da América e Europa demonstraram que a utilização de sais de alumínio no processo de coagulação pode elevar significativamente as concentrações de alumínio residual nas águas tratadas, o que resulta em sérios prejuízos para o meio ambiente e à saúde humana. Por esse motivo, as pesquisas com coagulantes naturais têm aumentado de maneira considerável⁸.

Ensaios com Fécula de Batata

Similarmente ao coagulante PAC foram realizadas medições da turbidez residual após cada ensaio utilizando Fécula de Batata, como pode-se observar na Tabela 2.

Por meio desses resultados, pode-se averiguar que apesar dos diversos ensaios realizados com diferentes concentrações de soluções coagulantes de Fécula de Batata, não se verificou nenhum resultado satisfatoriamente eficaz, haja vista que segundo a Sabesp - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo “a turbidez é um parâmetro de aspecto estético de aceitação ou rejeição do produto, e o valor máximo permitido de turbidez na água distribuída é de 5,0 NTU”. Em contrapartida, entende-se que devido a sua composição orgânica, não esperava-se que a Fécula de Batata atingisse resultados equivalentes aos dos outros coagulantes químicos. Logo, não se pode desprezar a grande remoção de sólidos suspensos que a mesma proporcionou ao ser adicionada na amostra bruta, atingindo uma eficiência relativamente alta de acordo com suas limitações. A fim de facilitar a visualização e entendimento da Tabela 2, plotou-se gráficos com os resultados apresentados anteriormente e que estão expressos na Figura 2.

Tabela 2. Resultados dos ensaios para a Fécula de Batata.

	Tempo de Floculação	Concentração/Volume da solução coagulante	Turbidez (uT)
Ensaio 1	15 min	Jarro 1: 5 mg/L	24,4
		Jarro 2: 10 mg/L	23,8
		Jarro 3: 15 mg/L	23,6
		Jarro 4: 20 mg/L	23,5
		Jarro 5: 25 mg/L	24,2
		Jarro 6: 30 mg/L	24,5
Ensaio 2	15 min	Jarro 1: 50 mg/L	25
		Jarro 2: 100 mg/L	25,1
		Jarro 3: 150 mg/L	16,1
		Jarro 4: 200 mg/L	18,8
		Jarro 5: 250 mg/L	21,7
		Jarro 6: 300 mg/L	21,8
Ensaio 3	15 min	Jarro 1: 150 mg/L	15,9
		Jarro 2: 160 mg/L	16,2
		Jarro 3: 170 mg/L	17,6
		Jarro 4: 180 mg/L	17,9
		Jarro 5: 190 mg/L	18,3
		Jarro 6: 200 mg/L	18,5
Ensaio 4	20 min	Jarro 1: 150 mg/L	14,6
		Jarro 2: 160 mg/L	15,9
		Jarro 3: 170 mg/L	16,3
		Jarro 4: 180 mg/L	16,8
		Jarro 5: 190 mg/L	17,7
		Jarro 6: 200 mg/L	18,1
Ensaio 5	25 min	Jarro 1: 150 mg/L	15,5
		Jarro 2: 160 mg/L	16,4
		Jarro 3: 170 mg/L	17,5
		Jarro 4: 180 mg/L	17,9
		Jarro 5: 190 mg/L	18,9
		Jarro 6: 200 mg/L	19,2

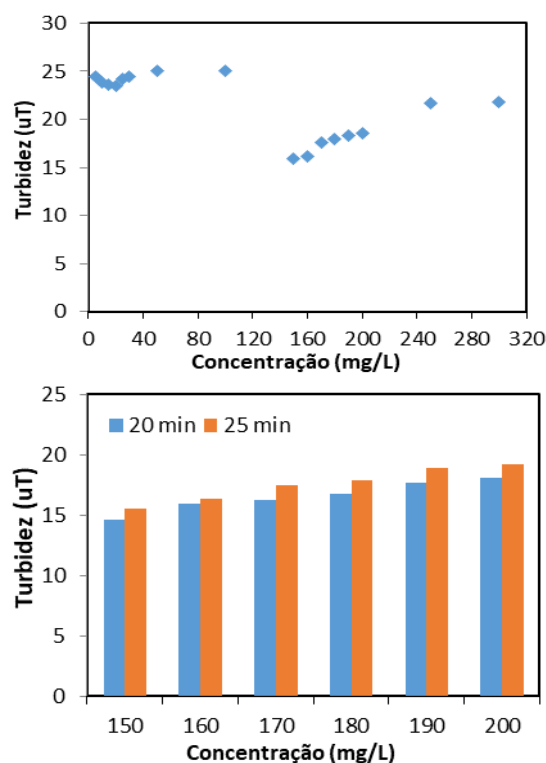


Figura 2. Turbidez residual após utilização do coagulante de fécula de batata em diferentes concentrações e tempo de floculação de 15 minutos (a) e turbidez residual em diferentes concentrações em tempos de floculação de 20 e 25 min (b).

Ao observar a Figura 2 (a) nota-se que existe uma faixa de concentração entre 150 a 200 mg/L que melhor remove a turbidez da amostra, gerando assim uma turbidez residual inferior, se comparada as concentrações abaixo deste intervalo e acima do mesmo. Em estudos desenvolvidos por Baptista *et al.* (2015)¹⁷ com coagulante natural de *Moringa oleifera*, foi avaliado o potencial de remoção da turbidez de água superficial e concluiu-se que por se tratar de um composto natural, assim como a Fécula de Batata, constituído de matéria orgânica, é verificado um limite de uso, já que a adição de altas concentrações de coagulante pode levar ao aumento de matéria orgânica na água tratada e nos parâmetros de cor e turbidez da amostra. Portanto, observa-se que a fécula comporta-se de forma semelhante a outros coagulantes naturais, uma vez que foi obtida a dosagem ótima para a mesma em 150 mg/L no tempo de floculação de 15 minutos, alcançando uma turbidez residual de 14,6 uT conforme observado na Figura 2 (a).

Posto que a melhor concentração ficou em torno de 150 mg/L do coagulante de Fécula de Batata, realizou-se em seguida, uma varredura mais estreita nos intervalos de concentração, variando de 150 a 200 mg/L, além disso, também variou-se o tempo de floculação em 20 e 25 minutos conforme demonstrado na Figura 2 (b). Assim, em função da Figura 2 (b), foi possível confirmar a melhor concentração de coagulante a ser utilizado (150 mg/L), junto com o melhor tempo de floculação que foi de 20 minutos, resultando então, menores valores de turbidez residual em consequência da maior remoção de turbidez.

Consórcios de PAC + Fécula de Batata

As combinações realizadas para os consórcios, basearam-se nos resultados verificados anteriormente. Por consequência, sabendo que a dosagem ótima da Fécula de Batata foi encontrada em 150 mg/L, adotou-se a série variando de 40 a 200 mg/L para este coagulante, a fim de investigar os melhores resultados. Junto a fécula associou-se a dosagem ótima de PAC, em porcentagem, de acordo com o consórcio correspondente. Portanto, as concentrações empregadas nos consórcios 75%, 50% e 25% foram 0,12 mg/L, 0,08 mg/L e 0,04 mg/L respectivamente, haja vista que a dosagem ótima obtida para o PAC foi de 0,15 mg.L⁻¹ (100%).

Os resultados obtidos com os três consórcios estão dispostos na Figura 3, a qual permite concluir que, os valores de turbidez encontrados com os consórcios de PAC + Fécula de Batata apresentaram-se bastante satisfatórios. Isso porque, todos os valores ótimos para os três consórcios encontram-se dentro do limite permitido para abastecimento humano (5 uT). Sendo que, os valores ótimos de turbidez residual observada nos consórcios de PAC + Fécula de Batata foram de 0,39 uT, 0,61 uT e 1,68 uT respectivamente para os consórcios de 75%,

50% e 25%.

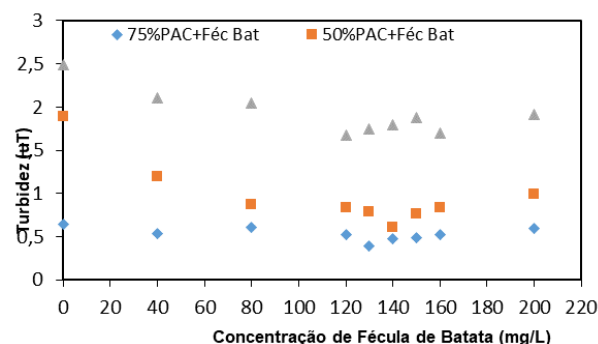


Figura 3. Turbidez residuais para diferentes concentrações dos consórcios de 75%, 50% e 25% de coagulantes PAC+ fécula de batata.

Além disso, pode-se avaliar, que dentre os consórcios analisados, os de 75% e 50% foram os que apresentaram maior remoção de turbidez na concentração próxima de 130 mg/L. Portanto, a utilização de consórcios torna-se um grande atrativo, pois por meio dele é possível reduzir gastos com a economia de coagulante primário, produzir um lodo com menor teor químico, ou seja, com maior facilidade de tratamento e biodegradabilidade, que propicia benfeitorias para a saúde da população, assim como reduzir o problema relacionado ao acréscimo de matéria orgânica na água tratada com o uso dos coagulantes naturais.

Levando em consideração que os resultados alcançados nas dosagens de 130 mg/L foram próximos tanto para consórcio de 50% quanto para o de 75%, seria mais viável a utilização do primeiro, visto que, a quantidade de coagulante química utilizada é menor. Logo, a proposta de 50% de PAC + Fécula de Batata deve ser uma realidade a ser pensada, se verificarmos os benefícios que podem ser alcançados, como também sua viabilidade econômica, em função da grande diferença observada nos resultados, ao analisar os ensaios com adição de Fécula de Batata e sem a inserção da mesma no sistema.

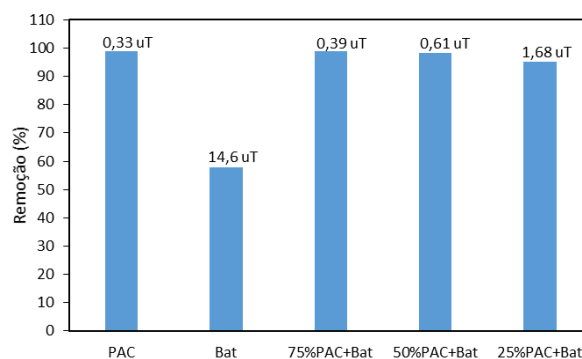


Figura 4. Percentual de remoção com a utilização dos coagulantes, PAC, Fécula de Batata, consórcio PAC+Fécula de Batata e seus respectivos valores de turbidez residual.

Já na Figura 4, é apresentado um resumo dos per-

centuais obtidos com a utilização dos diferentes coagulantes, PAC, Fécula de Batata e consórcios de 25%, 50% e 75% de PAC + Fécula de Batata, no formato de gráfico. Cujo objetivo foi evidenciar a eficiência encontrada com os coagulantes e consórcios já abordados no presente trabalho. Ao analisar a Figura 4, nota-se inicialmente, a eficiência obtida pelos dois coagulantes empregados separadamente (PAC e Fécula de Batata) e assim, como já esperado e analisado nos resultados anteriores, o PAC apresentou maior remoção de turbidez, cerca de 99%. Além disso, faz-se importante ressaltar que esse resultado excelente foi encontrado utilizando-se apenas 0,15 mg/L da solução coagulante de PAC. Já a eficiência da Fécula de Batata alcançou cerca de 58%, utilizando-se para atingir esse resultado uma concentração de 150 mg/L da solução coagulante. Ou seja, isso indica que a Fécula de Batata apesar de proporcionar uma remoção considerável de turbidez, não pode ser adotada como uma alternativa viável de tratamento de água, se utilizada individualmente, como coagulante natural. Contudo, é possível averiguar, posteriormente, que todos os consórcios apresentaram valores elevados com relação à remoção de turbidez, sendo que o consórcio de 50% PAC + Fécula de Batata apresentou maior destaque, isso porque, sua remoção de turbidez atingiu valores de 0,61 uT, mesmo com a redução do coagulante químico em 50%.

4. CONCLUSÃO

Por meio deste estudo, foi possível concluir que a Fécula de Batata é um polímero natural que se utiliza separadamente, como coagulante natural, não apresentou resultados economicamente satisfatórios, nas condições experimentais que foram analisadas. Uma vez que, os resultados de eficiência de remoção da turbidez alcançaram valor máximo de 58%.

No entanto, os consórcios desenvolvidos com Fécula de Batata e PAC possibilitou bons resultados, sendo a eficiência de remoção da turbidez superior a 95% conforme o percentual do consórcio. Além disso, os valores finais obtidos para turbidez (0,39, 0,61 e 1,68 uT, respectivamente para os consórcios de 75, 50 e 25% de PAC + Fécula de Batata), encontram-se dentro dos limites permitidos pela legislação para a água decantada (pré-filtração). Portanto, de modo geral, com base nos resultados analisados durante todo o experimento com o coagulante natural de Fécula de Batata, conclui-se que a utilização desse coagulante orgânico associado com coagulantes sintéticos em estações de tratamento, em comparação ao uso exclusivo de coagulantes primários, é uma alternativa para o tratamento simplificado de água para a redução de custos. Outro aspecto importante, diz respeito a vantagem oferecida principalmente para pequenas comunidades e áreas com pouco acesso a água de qualidade, devido a grande redução de custos proporci-

onada pelos consórcios.

REFERÊNCIAS

- [1] Schütz HMA (2012). "Programa Produtores de Água do município de Rio Verde-GO: Uma análise a partir das concepções de François sobre a sustentabilidade ambiental." *Âmbito Jurídico* 103: 4.
- [2] Braga B. et al. (2005). "Introdução à Engenharia Ambiental." 2ª Edição. São Paulo: Editora Afiliada.
- [3] Di Bernardo L, Dantas ADB. (2005). "Métodos e técnicas de tratamento de água." 2ª ed., 1. São Carlos: RiMa.
- [4] Cardoso KC, Bergamasco R, Cossich ES, Moraes LCK. (2008). "Otimização dos tempos de mistura e decantação no processo de coagulação/floculação da água bruta por meio da Moringa oleifera Lam." *Acta Scientiarum Technology*, Maringá, 3 (2); 193-198.
- [5] Ramos RO. (2005). "Clarificação de água com turbidez baixa e cor moderada utilizando sementes de Moringa oleifera". Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil, 29.
- [6] Piantá CAV. (2008). "Emprego de Coagulantes Orgânicos Naturais como Alternativa ao Uso do Sulfato de Alumínio no Tratamento de Água". Trabalho de Diplomação. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil, 26.
- [7] Valverde KC, Moraes LCK, Bongiovani MC, Camacho FP, Bergamasco R. (2013). "Coagulation diagram using the Moringa oleifera Lam and the aluminium sulphate, aiming the removal of color and turbidity of water." *Acta Scientiarum Technology*, Maringá, 5 (3), 485-489.
- [8] Wang W, Yang H, Wang X, Jiang J, Zhu W. (2010). "Effects of fulvic acid and humic acid on aluminum speciation in drinking water", *Journal of Environmental Sciences*, 22, 211-217.
- [9] Srinivasan P, Viraraghavan T, Subramanian K. (1999). "Aluminium in drinking water: An overview". *Water S A*, 25 (1), 47-56.
- [10] Rondeau V, Jacqmin-Gadda H, Commenges D, Helmer C, Dartigues JF. (2008). "Aluminium and silica in drinking water and the risk of Alzheimer's disease or cognitive decline: findings from 15-year follow-up of the PAQUID cohort." *American Journal of Epidemiology*, 169 (4), 489-496.
- [11] Theodoro JDP, et al. (2013). "Coagulants and Natural Polymers: perspectives for the treatment of water". *Plastic and polymer technology*, 2 (3), 55-62.
- [12] Standard Methods. (1998). For examination of Water and WasteWater, American Public Health Association – APHA, 20ª Edition, Washington, D.C.
- [13] Richter CA. (2012). "Água: Métodos e Tecnologia de Tratamento". São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda.
- [14] Yarahmadi M, Hossieni M, Bina B, Mahmoudian MH, Naimabadie A, Shahsavani A. (2009). Application of Moringa Oleifer Seed Extract and Polyaluminum Chloride in Water Treatment. *World Applied Sciences Journal* 7 (8): 962-967.
- [15] Baptista ATA, Silva MO, Gomes RG, Bergamasco R, Vieira MF, Vieira AMS. (2017). Protein fractionation of seeds of Moringa oleifera lam and its application in super-

ficial water treatment. Separation and Purification Technology, v. 180, p. 114-124.

- [16] Yang ZL, Gao BY, Yue QY, Wang Y. (2010). Effect of pH on the coagulation performance of Al-based coagulants and residual aluminum speciation during the treatment of humic acid-kaolin synthetic water. Journal of Hazardous Materials.
- [17] Baptista ATA, Coldebella PF, Cardines PHF, Gomes RG, Vieira MF, Bergamasco R, Vieira AMS. (2015). Coagulation– flocculation process with ultrafiltered saline extract of *Moringa oleifera* for the treatment of surface water. Chem. Eng. J. 276:166-173.