

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL**

JONAS RAUL BALBINOTI

**APLICAÇÃO DE EXTRATO DE SEMENTES DE MORINGA *OLEIFERA*
NA REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA POR FLOTAÇÃO POR AR
DISSOLVIDO**

**CURITIBA
2018**

JONAS RAUL BALBINOTI

**APLICAÇÃO DE EXTRATO DE SEMENTES DE MORINGA *OLEIFERA*
NA REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA POR FLOTAÇÃO POR AR
DISSOLVIDO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental.

Linha de Pesquisa: Controle e Monitoramento Ambiental.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Fatima de Jesus Bassetti
Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Lucila Adriani Coral

**CURITIBA
2018**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

B172a Balbinoti, Jonas Raul
2018 Aplicação de extrato de sementes de moringa oleifera na remoção de matéria orgânica por flotação por ar dissolvido / Jonas Raul Balbinoti.-- 2018.
96 f.: il.; 30 cm.

Disponível também via World Wide Web.
Texto em português com resumo em inglês.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Curitiba, 2018.
Bibliografia: p. 80-94.

1. Água - Qualidade. 2. Coagulantes naturais. 3. Trihalometanos. 4. Policloreto de alumínio. 5. Monitoramento ambiental. 6. Engenharia ambiental - Dissertações. I. Bassetti, Fátima de Jesus, orient. II. Coral, Lucila Adriani, coorient. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, inst. IV. Título.

CDD: Ed. 22 -- 363.7

Biblioteca Central da UTFPR, Câmpus Curitiba
Bibliotecária Lucia Ferreira Littiere - CRB 9-1271

TERMO DE APROVAÇÃO DE DISSERTAÇÃO Nº 095

A Dissertação de Mestrado intitulada APLICAÇÃO DE EXTRATO DE SEMENTES DE MORINGA OLEIFERA NA REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA POR FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO, defendida em sessão pública pelo(a) candidato(a) **Jonas Raul Balbinoti**, no dia 28 de fevereiro de 2018, foi julgada para a obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental, área de concentração Tecnologias E Processos Ambientais, e aprovada em sua forma final, pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental.

BANCA EXAMINADORA:

Prof(a). Dr(a). Lucila Adriani Coral - Presidente - UTFPR

Prof(a). Dr(a). Flávio Rubens Lapolli – UFSC

Prof(a). Dr(a). Karina Querne Carvalho Passig – UTFPR

A via original deste documento encontra-se arquivada na Secretaria do Programa, contendo a assinatura da Coordenação após a entrega da versão corrigida do trabalho.

Curitiba, 28 de fevereiro de 2018.

Carimbo e Assinatura do(a) Coordenador(a) do Programa

Este trabalho é dedicado à minha família, que
é e sempre será meu alicerce.

AGRADECIMENTOS

Agradeço:

Primeiramente a Deus, por ter me dado saúde e perseverança para a realização deste trabalho.

Aos meus pais, meu sentimento de enorme gratidão, por terem me dado apoio e educação - o que me permitiu criar grandes amizades nestes dois anos de pesquisa.

À minha esposa Thaisa, que sempre me incentivou e ajudou, assim como pela paciência ao longo deste tempo. Sem você eu não teria conseguido concluir este desafio.

À UTFPR, pela oportunidade de poder realizar esta pesquisa, que era algo que tanto almejava.

À minha orientadora, Professora Dr^a Fatima de Jesus Bassetti, que sempre me orientou de modo sensacional, em todos os momentos, me proporcionando segurança enorme para trabalhar. Além de orientadora, uma grande amiga.

À minha coorientadora, professora Dr^a Lucila Adriani Coral, pelos inúmeros auxílios durante esta jornada. Sem dúvida, também teve, juntamente com a professora Fátima, participação fundamental nesta pesquisa.

Aos membros da banca de qualificação e, agora, da dissertação, pelo tempo despendido às contribuições para este trabalho.

À professora Dr^a Karina Querne de Carvalho Passig, pelo incentivo na realização deste mestrado. Professora e amiga que me acompanha desde os tempos da graduação, meus profundos agradecimentos e consideração.

À todos os professores do PPGCTA, pelos ensinamentos concedidos.

Ao Laboratório Multiusuário de Análises Químicas (LAMAQ), em especial à técnica Rúbia Bottini, pela amizade e ajuda nas análises de TOC e fluorescência.

Ao professor Rafael Duarte Kramer, pelo auxílio na elaboração dos gráficos de fluorescência e sincronizado, além de outros ensinamentos ao longo destes dois anos.

À todos os meus amigos do mestrado, em especial àqueles pertencentes ao LTPA (Camila, Luci, Mariana, Raquel, Gabrielle, Luciana, Rafael, Bruno e Daniela): muito obrigado por todo o suporte que me deram e, principalmente, pela amizade formada.

Ao CNPQ, por ter me concedido a bolsa de estudos, o que permitiu que eu trabalhasse com melhores condições.

A todos,

MUITO OBRIGADO!

RESUMO

BALBINOTI, Jonas Raul. **Aplicação de extrato de sementes de *Moringa oleifera* na remoção de matéria orgânica por flotação por ar dissolvido**. 96 f. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

É imprescindível que a água dos mananciais, utilizada para abastecimento público, tenha potabilidade adequada. Quando esta é direcionada à estação de tratamento de água (ETA) e apresenta excesso de matéria orgânica, há a possibilidade de aumento na formação de trihalometanos (THMs), gerados na etapa de desinfecção com cloro. Devido ao exposto, esta pesquisa teve por objetivo avaliar a remoção de matéria orgânica dissolvida pela aplicação de extrato salino (CaCl_2) de sementes de *Moringa oleifera* puro e associado ao policloreto de alumínio (PAC) por flotação por ar dissolvido (FAD), em águas de baixa turbidez. A eficiência do processo foi avaliada através de análises dos parâmetros cor, turbidez, absorvância ao $\text{UV}_{254\text{nm}}$, carbono orgânico dissolvido (COD) e fluorescência. A água utilizada no estudo foi proveniente de um manancial da região metropolitana de Curitiba/PR. Em uma primeira etapa, foram feitas análises em águas com turbidez de 10, 20 e 30 uT, nas quais foram realizados ensaios de coagulação, floculação e flotação por ar dissolvido com extrato salino (CaCl_2) de sementes de *Moringa oleifera*, nas dosagens de 10, 20, 30, 40 e 50 mg L^{-1} , a fim de determinar a melhor dosagem do coagulante. As melhores dosagens de coagulante foram 20, 30 e 40 mg L^{-1} para água com 10, 20 e 30 uT, respectivamente. Na segunda etapa, as melhores dosagens do coagulante *Moringa oleifera* foram associadas ao PAC, nas proporções *Moringa*:PAC 90:10, 80:20 e 70:30. Nesta última condição (70:30), foram atingidas remoções de 85% para turbidez, 95% para cor e 40% para compostos com absorvância em 254 nm. O acréscimo de COD na água foi menor, à medida que se diminuiu a quantidade de *Moringa oleifera* utilizada. Através dos espectros de fluorescência, pode-se observar que o uso dos coagulantes associados proporcionou reduções de intensidade entre a faixa de Exc/Emi de 225/400 (Triptofano) - quando empregada maior quantidade de PAC, e aumento de intensidade no intervalo de Exc/Emi de 220-325 (Tirosina), conforme o acréscimo de maiores dosagens de *Moringa oleifera* - em virtude da matéria orgânica advinda do coagulante natural. Por conseguinte, foi avaliada a eficiência do processo na formação de trihalometanos, tanto para *Moringa oleifera*, quanto da associação desta com o PAC. Verificou-se que o uso do coagulante *Moringa oleifera*, bem como o uso deste associado ao PAC, não acarretou em aumento na formação de trihalometanos no sistema, permanecendo abaixo do limite de 100 $\mu\text{g L}^{-1}$. Desse modo, foi possível concluir que o uso associado dos coagulantes *Moringa oleifera* e PAC, em dosagens baixas, pode ser uma alternativa promissora para águas com turbidez de até 30 uT.

Palavras-chave: Qualidade da água. Coagulante natural. Policloreto de alumínio. Trihalometanos.

ABSTRACT

BALBINOTI, Jonas Raul. **Application of *Moringa oleifera* extract in the removal of organic matter by dissolved air flotation**. 96 p. Thesis (Master in Environmental Science and Technology). Federal University of Technology – Parana. Curitiba, 2018..

It is essential that water from the rivers, used for public supply, has adequate potability. When it is directed to the water treatment plants (WTP) and has excess organic matter, there is the possibility of an increase in the formation of trihalomethanes (THM's), generated in the disinfection stage with chlorine, in the conventional treatment process. The objective of this research was to evaluate the removal of dissolved organic matter by the application of saline extract (CaCl_2) from seeds of only *Moringa oleifera* and associated to polyaluminium chloride (PACl), by dissolved air flotation (DAF), in waters with low turbidity. The efficiency of the processes was evaluated by analyzing the parameters color, turbidity, $\text{UV}_{254\text{nm}}$ absorbance, dissolved organic carbon and fluorescence spectroscopy. The water used in the study from a river in the region of the Curitiba/PR. In the first stage, analyzes were performed in turbid waters of 10, 20 and 30 NTU, in which coagulation, flocculation and dissolved air flotation (DAF) with *Moringa oleifera* extracted with CaCl_2 in the dosages of 10, 20, 30, 40 and 50 mg L^{-1} , in order to detect the best dosage of the coagulant. The best coagulant dosages were 20, 30 and 40 mg L^{-1} for water with 10, 20 and 30 NTU, respectively. In the second moment, PAC addition in the best dosages of the *Moringa oleifera*, in the ranges of 10 to 30% substitution of the saline coagulant. The utilization of coagulants in the proportion of 70:30 (*M. oleifera*:PAC) led to removal efficiencies above 85% for turbidity, 95% for color and 40% for compounds with $\text{UV}_{254\text{nm}}$ absorbance. The COD increase in water was lower, as the amount of *Moringa oleifera* used was decreased. By Spectroscopic fluorescence, it can be observed that the use of the associated coagulants provided reductions of intensity in the wavelengths range excitation and emission of 225/400 nm (Tryptophan), respectively, when a greater amount of PAC was used, and increase of intensity in the wavelengths of 220-325 nm (Tyrosine), respectively, according to the increase of higher dosages of *Moringa oleifera* - due to the organic matter coming from the natural coagulant. Therefore, the efficiency of the process in the formation of THM's was evaluated. It was verified that the use of the coagulant *Moringa oleifera*, as well as the use of this coagulant associated to the PAC, did not result in a large generation of THM's in the system, remaining below the limit of 100 $\mu\text{g L}^{-1}$. Thus, it was possible to conclude that the associated use of *Moringa oleifera* and PAC coagulants at low dosages may be a promising alternative for turbid water up to 30 NTU.

Keywords: Water quality. Natural coagulant. Polyaluminium chloride. Trihalomethanes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - <i>Moringa oleifera</i> : planta, semente com casca e semente sem casca.....	24
Figura 2 - Estrutura química proposta para o ácido húmico e ácido fúlvico.....	30
Figura 3 - Frações de matéria orgânica (COP e COD) distribuídas em meio aquático, de acordo com o tamanho e peso molecular.	31
Figura 4 - Estrutura química dos principais THM's.....	35
Figura 5 - Desenho esquemático das etapas do preparo do coagulante <i>M. oleifera</i>	39
Figura 6 - Fotografia do Equipamento Floteste, utilizado nos ensaios de coagulação, floculação e flotação por ar dissolvido.....	40
Figura 7 - Turbidez residual, em água com turbidez de 10, 20 e 30 uT, em diferentes dosagens do coagulante <i>M. oleifera</i>	47
Figura 8 - Cor residual, em água com turbidez de 10, 20 e 30 uT, em diferentes dosagens do coagulante <i>M. oleifera</i>	49
Figura 9 - Mecanismo de atuação do coagulante obtido a partir de extração salina (CaCl_2 1M) de <i>M. oleifera</i>	51
Figura 10 - Turbidez residual, nas diferentes combinações de <i>M. oleifera</i> e PAC, em água com turbidez de 10, 20 e 30 uT.....	55
Figura 11 - Fotografia da água no flotor após C/F/FAD, ao utilizar os coagulantes associados <i>M. oleifera</i> e PAC.	56
Figura 12 - Remoção de turbidez, nas diferentes combinações de <i>M. oleifera</i> e PAC, em água com turbidez de 10, 20 e 30 uT.....	57
Figura 13 - Cor residual, nas diferentes combinações de <i>M. oleifera</i> e PAC, em água com turbidez de 10, 20 e 30 uT.	58
Figura 14 - Remoção de cor, nas diferentes combinações de <i>Moringa oleifera</i> e PAC, em água com turbidez de 10, 20 e 30 uT.	59
Figura 15 - Gráfico de contorno da MEE da água com turbidez de 10 uT, utilizando o coagulante <i>M. oleifera</i> , bem como a associação deste com o PAC, antes e após C/F/FAD.....	65
Figura 16 - Gráfico de contorno da MEE da água com turbidez de 20 uT, utilizando o coagulante <i>M. oleifera</i> , bem como a associação deste com o PAC, antes e após C/F/FAD.....	66
Figura 17 - Gráfico de contorno da MEE da água com turbidez de 30 uT, utilizando o coagulante <i>M. oleifera</i> , bem como a associação deste com o PAC, antes e após C/F/FAD.....	68

Figura 18 - Espectro de fluorescência sincronizado para água com turbidez de 10 uT, utilizando o coagulante <i>M. oleifera</i> e associação desta com o PAC, antes e após C/F/FAD.....	69
Figura 19 - Espectro de fluorescência sincronizado para água com turbidez de 20 uT, utilizando o coagulante <i>M. oleifera</i> e associação desta com o PAC, antes e após C/F/FAD.....	70
Figura 20 - Espectro de fluorescência sincronizado para água com turbidez de 30 uT, utilizando o coagulante <i>M. oleifera</i> e associação desta com o PAC, antes e após C/F/FAD.....	71
Figura 21 - Concentração de THM's totais, nas três condições de água inicial (10, 20 e 30 uT) e após C/F/FAD, utilizando os coagulantes <i>M. oleifera</i> e PAC.....	72
Figura 22 - Concentração dos compostos que compõem o grupo de THM's, na condição de água 10 uT, antes e após C/F/FAD, utilizando os coagulantes <i>M. oleifera</i> e PAC.....	74
Figura 23 - Concentração dos compostos que compõem o grupo de THM's, na condição de água 20 uT, antes e após C/F/FAD, utilizando os coagulantes <i>M. oleifera</i> e PAC.....	74
Figura 24 - Concentração dos compostos que compõem o grupo de THM's, na condição de água 30 uT, antes e após C/F/FAD, utilizando os coagulantes <i>M. oleifera</i> e PAC.....	74
Figura 25 - Gráfico de concentração de THM's e COD, nas três condições de água (10, 20 e 30 uT) e após C/F/FAD, utilizando os coagulantes <i>M. oleifera</i> e PAC.....	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Picos principais de fluorescência.	32
Tabela 2 - Valores de SUVA: composição da MON, influência da MON na coagulação e porcentagem de COD removida.....	34
Tabela 3 - Parâmetros analíticos e respectiva metodologia.	42
Tabela 4 - Características da água com turbidez de 10, 20 e 30 uT em função dos parâmetros absorvância ao UV _{254nm} e COD com diferentes dosagens de <i>M. oleífera</i> , antes e após C/F/FAD.....	52
Tabela 5 - Melhores dosagens do coagulante <i>M. oleífera</i> para as águas de 10, 20 e 30 uT, em função da turbidez, cor, COD e abs. ao UV _{254nm}	53
Tabela 6 - Melhores dosagens de <i>M. oleífera</i> a serem associadas posteriormente ao coagulante PAC.....	54
Tabela 7 - Características da água com turbidez de 10, 20 e 30 uT em função dos parâmetros SUVA, COD, absorvância ao UV _{254nm} , alumínio, pH e condutividade elétrica com diferentes dosagens dos coagulantes <i>M. oleífera</i> e PAC, antes e após C/F/FAD.....	61
Tabela 8 - Parâmetros SUVA e Abs. ao UV _{254nm} dos estudos realizados por Valverde (2014) e Balbinoti (2018).....	63

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

$\mu\text{g L}^{-1}$	-	Micrograma por litro
AF	-	Ácido fúlvico
AH	-	Ácido húmico
Al_2O_3	-	Sulfato de alumínio
ANOVA	-	Análise de variância
C/F/FAD	-	Coagulação/floculação/flotação por ar dissolvido
CaCl_2	-	Cloreto de cálcio
cm	-	Centímetro
COD	-	Carbono orgânico dissolvido
CODNP	-	Carbono orgânico dissolvido não purgável
COP	-	Carbono orgânico particulado
COT	-	Carbono orgânico total
Da	-	Dalton
ETA	-	Estação de tratamento de água
FAD	-	Flotação por ar dissolvido
g L^{-1}	-	Grama por litro
h	-	Horas
H_2SOH_4	-	Ácido sulfúrico
KCl	-	Nitrato de potássio
KNO_3	-	Nitrato de potássio
L	-	Litro
M	-	Molar
MEE	-	Matrizes de excitação-emissão
mg L^{-1}	-	Miligrama por litro
mm	-	Milímetro
MOD	-	Matéria orgânica dissolvida
MON	-	Matéria orgânica natural
MOP	-	Matéria orgânica particulada
NaCl	-	Cloreto de sódio
NaNO_3	-	Nitrato de sódio
nm	-	Nanômetro
$^{\circ}\text{C}$	-	Graus celsius
PAC	-	Policloreto de alumínio
pH	-	Potencial hidrogeniônico
rpm	-	Rotação por minuto
s	-	Segundo
SH	-	Substância húmica
THM	-	Trihalometano
uH	-	Unidade Hazen
uT	-	Unidades de turbidez
SUVA	-	Absorbância ao ultra violeta específico

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVO	17
2.1 Objetivo geral	17
2.2 Objetivos específicos	17
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
3.1 Coagulação e floculação	18
3.2 Flotação por ar dissolvido (FAD).....	20
3.3 Coagulantes	21
3.3.1 Sulfato de alumínio	21
3.3.2 Policloreto de alumínio	22
3.3.3 Coagulantes naturais	23
3.3.3.1 Moringa oleifera Lam	23
3.4 Matéria orgânica	29
3.5 Trihalometanos	34
4 METODOLOGIA	37
4.1 Testes preliminares	37
4.2 Água de estudo	38
4.3 Preparo da solução coagulante a partir de sementes de Moringa oleifera e do PAC.....	38
4.4 Desenvolvimento experimental	40
4.5 Procedimentos analíticos.....	41
4.5.1 Concentração de COD	42
4.5.2 Espectrometria de Absorção e Luminescência Molecular	43
4.5.2.1 Absorbância ao UV_{254nm}.....	43
4.5.2.2 Espectros de Emissão/Excitação de fluorescência.....	43
4.5.3 Trihalometanos.....	44
4.6 Análise estatística.....	44
5 RESULTADOS.....	46
5.1 Influência da dosagem do coagulante de Moringa oleifera no tratamento de água	46
5.1.1 Ensaio de C/F/FAD para avaliar a remoção de turbidez.....	46
5.1.2 Ensaio de C/F/FAD para avaliar a remoção da cor	49

5.1.3 Ensaio de C/F/FAD para avaliar a remoção da matéria orgânica	51
5.1.4 Definição das melhores dosagens do coagulante <i>Moringa oleifera</i>	53
5.2 Associação dos coagulantes <i>M. oleifera</i> e policloreto de alumínio (PAC)	54
5.2.1 Ensaio de C/F/FAD para avaliar a remoção da turbidez	55
5.2.2 Ensaio de C/F/FAD para avaliar a remoção da cor	58
5.2.3 Ensaio de C/F/FAD para avaliar a remoção da matéria orgânica	60
5.3 Ensaio de C/F/FAD para avaliar a formação de Trihalometanos	72
6 CONCLUSÕES	78
REFERÊNCIAS	80

1 INTRODUÇÃO

Sabe-se que é de extrema importância a necessidade de consumir água com potabilidade adequada. Para que isso ocorra, é necessário que sistemas de tratamento sejam eficientes quanto à qualidade da água distribuída à população.

Um dos fatores que pode interferir na qualidade da água a ser tratada diz respeito à matéria orgânica, que pode ter origem tanto natural, quanto antrópica – ocasionada, principalmente, pelo despejo de efluentes domésticos e industriais nos corpos hídricos. A matéria orgânica natural (MON) é definida como uma mistura de compostos, englobando desde macromoléculas a compostos menores, como ácidos orgânicos simples e hidrocarbonetos de cadeia curta (VON SPERLING, 1996).

O cenário é preocupante quando, dentre outros fatores, as estações de tratamento de água (ETA), nas etapas de coagulação, floculação, sedimentação e filtração, não são eficazes para a remoção de matéria orgânica dissolvida (MOD). Na etapa subsequente de tratamento, que corresponde à desinfecção, o cloro, agente desinfetante mais utilizado para prevenir o desenvolvimento de microrganismos, pode reagir com a matéria orgânica remanescente na água, principalmente com os ácidos húmicos, através de reações de halogenação e oxidação, originando subprodutos, dentre eles, os trihalometanos (THM's) (BACH, 2014; BRASIL, 2006; CHEN et al., 2008; JOSÉ et al., 2016).

Nas ETAs, os coagulantes usualmente utilizados são os sais de alumínio, devido principalmente ao seu baixo custo e eficiência na coagulação de partículas coloidais (CARVALHO, 2008). No entanto, Martyn et al. (1989) afirmam que o consumo de água tratada por este coagulante, devido à presença alumínio residual, pode acelerar o aparecimento de doenças, como o Mal de Alzheimer, além de apresentar outros inconvenientes, como a maior quantidade de lodo gerado na ETA, além dos altos teores de alumínio que não são descartados. Desse modo, é essencial que sejam estudados outros tipos de coagulantes, menos agressivos aos seres humanos e ao ambiente (BARBOSA et al., 2003).

Di Bernardo e Dantas (2005) sugerem a utilização do coagulante Policloreto de Alumínio (PAC), em substituição aos coagulantes inorgânicos mais comumente empregados. Algumas das vantagens deste coagulante, segundo os

autores, são maior eficiência em intervalos amplos de pH e temperatura, e menores dosagens de coagulante necessárias para a coagulação. Porém, assim como nos coagulantes inorgânicos tradicionais, o PAC gera residual tanto na água tratada, quanto no lodo gerado – todavia, em menores quantidades.

São essenciais novas medidas para o tratamento convencional da água, para obter um produto final com melhor qualidade. Uma opção é o emprego de coagulantes naturais, os quais proporcionam vantagens em relação aos coagulantes químicos, como melhor biodegradabilidade e menor toxicidade, bem como menor produção de lodo (NDABIGENGESERE et al., 1995).

As sementes da espécie *Moringa oleifera* Lam têm sido estudadas como alternativa viável de agente coagulante em substituição aos sais de alumínio utilizados no tratamento de água em todo o mundo. Muitos autores sugerem o uso deste coagulante apenas em água com alta turbidez, visto que, em água com baixa turbidez, a remoção não se mostra eficiente (KWAAMBWA et al., 2010; MORETI et al., 2013). Estudos demonstraram melhor capacidade deste coagulante natural quando extraído das sementes com solução salina. As pesquisas envolvendo tais soluções utilizam os sais NaCl (principalmente), KNO₃, KCl, NaNO₃ e CaCl₂ (BAPTISTA et al., 2017; CAMACHO et al., 2017; CARVALHO et al., 2016).

Uma das desvantagens no uso do coagulante *M. oleifera* no tratamento de água é devido ao aumento de matéria orgânica adicionada à mesma, o que pode levar à formação de THMs, quando adicionado cloro na água (BAPTISTA et al., 2015). Na tentativa de minimizar a formação destes compostos, tem-se a opção de associar o coagulante natural com coagulantes químicos mais eficientes, como o PAC. Carvalho (2015) obteve remoções superiores a 80% nas etapas de clarificação ao associar os coagulantes *M. oleifera* e PAC, com o intuito de reduzir cor e turbidez.

Na literatura, poucos estudos são encontrados relativos à remoção de matéria orgânica a partir da aplicação do coagulante obtido de extrato de sementes de *M. oleifera*, assim como a associação dessa condição ao processo de flotação por ar dissolvido (FAD) em águas de baixa turbidez. Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar a remoção de turbidez, cor e matéria orgânica dissolvida utilizando extrato de sementes de *M. oleifera* puro e associado ao PAC como coagulante, por intermédio de coagulação, floculação e FAD em águas com turbidez de até 30 uT.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo geral

Avaliar a remoção de turbidez, cor e matéria orgânica dissolvida pela aplicação de extrato salino de sementes de *Moringa oleifera* puro e associado ao policloreto de alumínio (PAC) no processo de flotação por ar dissolvido (FAD) em águas com baixa turbidez.

2.2 Objetivos específicos

1) Avaliar a influência do coagulante obtido a partir de extração salina de sementes de *Moringa oleifera* na remoção de turbidez, cor e matéria orgânica dissolvida (absorbância ao UV_{254nm} e carbono orgânico dissolvido), em águas com baixa turbidez;

2) Determinar a eficiência da associação do PAC com o coagulante obtido a partir de extração salina de sementes de *Moringa oleifera*, na remoção de turbidez, cor e matéria orgânica dissolvida (absorbância ao UV_{254nm}, carbono orgânico dissolvido, SUVA e espectroscopia de fluorescência molecular de emissão, excitação e sincronizado) em águas com baixa turbidez; e

3) Avaliar a interferência quanto a formação de THMs decorrentes da associação *Moringa oleifera* e PAC.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Coagulação e floculação

A coagulação consiste na desestabilização das partículas coloidais e suspensas, realizada por ações físicas e reações químicas, entre o coagulante (sal de alumínio ou ferro, usualmente), a água e as impurezas presentes. Em solução aquosa, os íons metálicos de ferro e de alumínio, positivamente carregados, formam fortes ligações com os átomos de oxigênio, podendo coordenar até seis moléculas de água ao redor, liberando os átomos de hidrogênio e reduzindo o pH da suspensão (DI BERNARDO, 1993).

Neste processo, na etapa de mistura rápida – contato do coagulante com as impurezas – as forças de repulsão entre os colóides são reduzidas. Com a aproximação e colisão das partículas desestabilizadas, é necessária a etapa de agitação lenta, para que as impurezas se aglomerem e formem os flocos, os quais serão removidos por sedimentação ou flotação (DI BERNARDO; DANTAS, 2005; LIBÂNIO, 2010;).

De acordo com Pavanelli (2001), os principais mecanismos que atuam na coagulação são: compressão da camada difusa, adsorção e neutralização de cargas, varredura e adsorção e formação de pontes.

A compressão da camada difusa ocorre em função do aumento da força iônica. Libânio (2010) afirma que os íons de carga positiva, ao atravessarem a camada compacta, reduzem a magnitude do potencial zeta e a espessura da dupla camada, possibilitando a posterior aproximação das partículas.

Já no mecanismo de adsorção e neutralização de cargas as reações são extremamente rápidas e ocorrem em frações de segundo. A desestabilização de um colóide consiste nas interações entre coagulante-colóide, coagulante-solvente e colóide-solvente. Neste curto espaço de tempo, as espécies hidrolisadas do coagulante interagem com os colóides, causando desestabilização por neutralização de cargas. Desse modo, partículas minerais que ocasionam turbidez são desestabilizadas, enquanto colóides de origem orgânica formam precipitados insolúveis com as espécies poliméricas de alumínio (se considerado este elemento

como coagulante) (DI BERNARDO; DANTAS, 2005; RICHTER, 2009). Este mecanismo de coagulação é predominante em ETAs operadas com filtração direta, em virtude dos microflocos formados apresentarem baixa velocidade de sedimentação e alta resistência ao cisalhamento (LIBÂNIO, 2010).

No mecanismo de varredura, os flocos são maiores e sedimentam ou flutam mais facilmente do que os flocos obtidos por adsorção ou neutralização de cargas (DI BERNARDO; DANTAS, 2005). Neste processo, é formado um precipitado de hidróxido de alumínio amorfo, que capta e arrasta consigo as partículas, de modo mais lento, em um período entre 1 e 7 segundos (RICHTER, 2009). O mecanismo de coagulação por varredura é o mais utilizado em ETAs no Brasil (LIBÂNIO, 2010).

Na adsorção e formação de pontes são empregados polímeros de grandes cadeias moleculares, utilizados como ponte entre a superfície ao qual estão aderidos e outras partículas (RICHTER, 2009). As pontes formadas por estes polímeros ocorrem em função da adsorção das partículas coloidais nas superfícies das diversas cadeias dos polímeros. Para que isso ocorra, a molécula do polímero deve ser longa o suficiente para minimizar o efeito repulsivo da dupla camada, quando da aproximação de mais de uma partícula, e permitir a adsorção em sua superfície (LIBÂNIO, 2010).

Dentre os fatores que interferem na coagulação, são considerados o tipo de coagulante, pH, alcalinidade, natureza e distribuição dos tamanhos das partículas que ocasionam cor e turbidez, presença de íons, concentração e idade da solução coagulante, temperatura da água, além do gradiente de velocidade e o tempo de agitação na unidade de mistura rápida (DI BERNARDO; DANTAS, 2005; LIBÂNIO, 2010; RICHTER, 2009).

Após a etapa de coagulação tem-se a floculação - agregação de partículas suspensas e coloidais presentes na água. Este mecanismo é determinado por parâmetros como tempo e agitação, os quais influenciam na ocorrência dos choques entre as partículas desestabilizadas na unidade de coagulação, objetivando a formação dos flocos a serem removidos posteriormente na etapa de sedimentação ou flotação (DI BERNARDO; PAZ, 2008; LIBÂNIO, 2010).

Richter (2009) afirma que a aglutinação das partículas é realizada principalmente pelos efeitos das colisões causadas pelo movimento das moléculas (devido à energia térmica) e pelas colisões ocasionadas pelo movimento da água. Os principais fatores intervenientes na floculação são: gradiente de velocidade e o

tempo de detenção – os quais determinarão a densidade e o tamanho dos flocos formados, bem como maior ou menor resistência dos flocos aos efeitos do cisalhamento (LIBÂNIO, 2010).

Nas ETAs convencionais, os parâmetros utilizados para avaliar a etapa de floculação (formação do floco) incluem a turbidez e cor aparente (LIBÂNIO, 2010). Segundo Heller e Pádua (2010), ensaios em laboratório permitem definir o gradiente de velocidade adequado para as características da água, em função do tempo de floculação.

3.2 Flotação por ar dissolvido (FAD)

No tratamento convencional, após as etapas de coagulação e floculação, os flocos podem ser removidos por sedimentação ou flotação. Na sedimentação, a força da gravidade faz com que os flocos se depositem no fundo do decantador. Já no processo de flotação ocorre o contrário – as microbolhas de ar produzidas na câmara de saturação de água se aderem aos flocos, aumentando o empuxo e provocando ascensão dos flocos até a superfície do flotor, os quais serão constantemente removidos do sistema (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

Richter (2009) define flotação como processo de separação de um sólido com densidade menor que a do líquido onde se encontra suspenso, em função da presença de bolhas de gás, as quais proporcionam a flutuação do sólido até a superfície. As principais vantagens da flotação, se comparada à sedimentação, são: unidades mais compactas, exigindo menor espaço construído; o lodo produzido apresenta maior teor de sólidos; redução de consumo do coagulante primário; redução do tempo de floculação; promoção de maior grau de oxidação da água, fato este que proporciona condições mais favoráveis para remoção de metais solúveis (HELLER; PÁDUA, 2010; METCALF; EDDY, 2003).

O processo de flotação é uma alternativa eficaz para águas que apresentam partículas de baixa densidade, com tendência natural para flutuar, ricas em nutrientes, cor elevada, baixa turbidez e alcalinidade e concentração baixa de matéria orgânica (FUKUSHI et al., 1995; MALLEY; EDZWALD, 1991). Os sistemas de flotação são classificados em função dos modos em que são produzidas as

bolhas de ar. Os processos usualmente empregados são flotação por ar disperso ou induzido (FAI), flotação eletrolítica ou eletroflotação (EF) e a FAD; destes, Santiago (2008) afirma que a FAD é o método de flotação mais utilizado.

Hyde et al. (1977) e Campos e Reali (1985) classificam a FAD em função da forma como é realizada a redução de pressão, sendo: flotação à vácuo (onde o ar dissolvido na água à pressão atmosférica é liberado, sob a forma de microbolhas, em uma câmara de pressão negativa), flotação sob pressão (em que a massa líquida é saturada com ar em uma câmara de pressurização e conduzida à outra câmara submetida à pressão atmosférica, onde as microbolhas são formadas) e microflotação (no qual a saturação de ar é realizada pelo aumento da pressão hidrostática).

Dentre os três sistemas de redução de pressão, o mais vantajoso para o tratamento é o de flotação sob pressão, visto que a agitação não é forte – o que permite melhor controle da produção de bolhas, além de ser o mais econômico, devido ao menor tempo de detenção, em virtude das altas taxas de aplicação superficiais aplicadas (CAMPOS; REALI, 1985).

3.3 Coagulantes

3.3.1 Sulfato de alumínio

Os coagulantes químicos mais comumente utilizados nas ETAs são os sais de alumínio. O uso exacerbado do sulfato de alumínio se dá em virtude de suas características que proporcionam excelente formação do floco, baixo custo e facilidade de manuseio (CORBITT, 1998).

No entanto, o emprego do sulfato de alumínio na coagulação ocasiona diversos malefícios. O residual de alumínio, presente na água tratada, é capaz de promover ou acelerar o desenvolvimento do Mal de Alzheimer, segundo alguns estudos (BHATTI et al., 2009; DI BERNARDO, 2008). Aliado a isso, a presença de alumínio residual nas ETAs gera turvação no final do tratamento e prejuízo na etapa de desinfecção (SRINIVASAN; VIRARAGHVAN, 2002), além de criar condições para

o desenvolvimento de doenças neurológicas (ROSALINO, 2011). Tendo em vista os aspectos negativos gerados pelo uso dos sais de alumínio, novos coagulantes estão sendo estudados e tornando-se mais usuais.

3.3.2 Policloreto de alumínio

O PAC é um coagulante inorgânico que apresenta características menos agressivas no tratamento da água, se comparado a outros sais de alumínio habitualmente utilizados (PAVANELLI, 2001). Caracteriza-se como um sal de alumínio pré-polimerizado e, em virtude desta condição, durante a hidrólise libera quantidade consideravelmente menor de ácido se comparado com o sulfato de alumínio (FLORIDA, 2008), gerando menor variação do pH do meio tratado e menor consumo de neutralizante para alterar o pH em seu ponto original.

O PAC também apresenta vantagens na floculação, devido principalmente à maior concentração de Al_2O_3 (PAVANELLI, 2001); mostra-se mais efetivo em faixa de pH relativamente maior e em temperaturas mais baixas, comparando-o com o sulfato de alumínio (YE et al., 2007; ZOUBOULIS et al., 2008); em relação à eliminação de substâncias coloidais, possui média de remoção 2,5 vezes superior, em igualdade de dosagem ao íon Al^{3+} , se comparado à dos outros sais de alumínio frequentemente utilizados (PAVANELLI, 2001; SRIVASTAVA, 2005).

Wey et al. (2015) avaliaram diversas concentrações de PAC em diferentes valores de pH. Os mecanismos de coagulação para as diferentes dosagens de PAC e os valores do pH da solução foram comparados com a coagulação utilizando sulfato de alumínio. Ao término do estudo, os autores concluíram que as zonas de neutralização de cargas e de varredura, utilizando PAC, são mais amplas em maiores intervalos de dosagem de coagulante e pH, quando comparados com o sulfato de alumínio.

Zhan et al. (2010) analisaram o efeito da dosagem do PAC sobre o desempenho da coagulação em águas superficiais com baixo valor de absorvância específica. Segundo os autores, a remoção da MON aumentou com o incremento da

dosagem de PAC. Com relação à forma de coagulação, a neutralização de carga foi o principal mecanismo para remoção da MON em doses baixas de PAC.

3.3.3 Coagulantes naturais

Os coagulantes naturais também se apresentam como alternativa eficaz no tratamento de água, sendo cada vez mais estudados. Estes coagulantes, em locais remotos, são utilizados há vários anos, devido principalmente à dificuldade no acesso aos produtos químicos utilizados comumente como coagulantes (CHOY et al., 2014). Lo Monaco et al. (2010) e Nwaiwu e Lingmu (2011) afirmam que os coagulantes naturais têm demonstrado vantagens em relação aos coagulantes químicos, principalmente no que concerne à biodegradabilidade, bem como baixa toxicidade e menor produção de lodos residuais. Choy et al. (2014) também apontam outros benefícios destes coagulantes: não corrosivos; saudáveis para consumo; desnecessário realizar ajustes de pH e alcalinidade.

Vários materiais estão sendo pesquisados como meios alternativos à utilização de coagulantes químicos, como solos modificados com amido (SHI et al., 2016), fibras de celulose (MUKHERJEE et al., 2014), farinha de banana sem casca (KAKOI et al., 2016) e sementes de plantas (ABIDIN et al., 2013; CARVALHO et al., 2016).

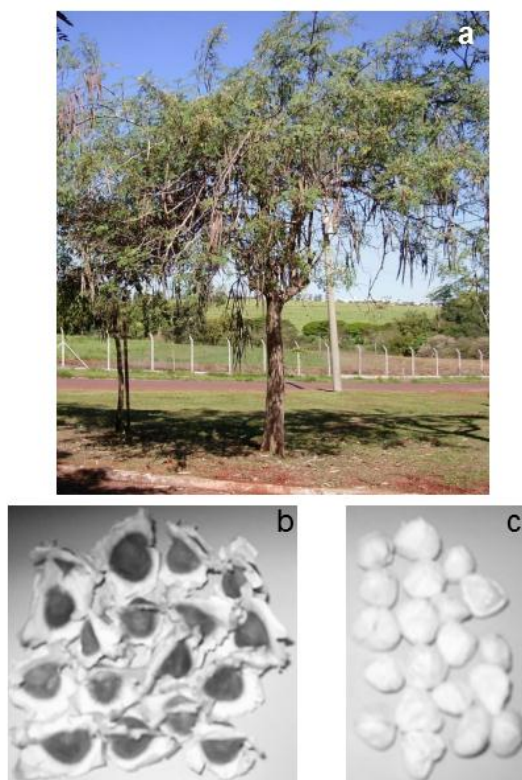
3.3.3.1 *Moringa oleifera* Lam

Moringa oleifera Lam é uma árvore (Figura 1) pertencente à família das *Moringaceae*, nativa da Índia e amplamente cultivada nos trópicos de todo o mundo (KARADI et al., 2006). Mcconachie et al. (1999) afirmam que uma característica interessante da *M. oleifera* é seu crescimento rápido - mesmo em solos que apresentam pequenas quantidades de nutrientes e durante longos períodos de seca. De acordo com Pritchard et al. (2010a), essa espécie de árvore é capaz de produzir de 2.000 a 20.000 sementes por ano. Dentre os diversos benefícios da espécie,

Gopalakrishnan et al. (2016) destacam seu uso como coagulante natural para o tratamento de água para abastecimento.

Segundo Ndabigengesere et al. (1995), as sementes da *M. oleifera* são compostas de proteínas catiônicas de alto peso molecular, com capacidade de desestabilizar as partículas presentes na água, por intermédio de mecanismos de neutralização e adsorção.

Figura 1 - *Moringa oleifera*: planta (a), semente com casca (b) e semente sem casca (c).



Fonte: Arantes, 2014; Santana, 2009.

Poumaye et al. (2012) utilizaram sementes de *M. oleifera*, trituradas a pó, para clarificação das águas superficiais do rio M'Poko, na República Centro Africana. Os autores concluíram que a *M. oleifera* é eficaz para obtenção de água clarificada e, dentre outros benefícios, evita-se o uso de coagulantes químicos e configura-se um processo que agride o meio ambiente; no entanto, o uso das sementes incrementou os níveis de matéria orgânica na água, sendo necessária etapa subsequente de filtração direta para remoção.

Grande parte das pesquisas encontradas na literatura propõe a utilização do extrato das sementes de *M. oleifera* obtidas com solução salina (HAMID et al., 2016; OKUDA et al., 2009; TEIXEIRA et al., 2017). Baptista et al.

(2015) propuseram a obtenção de coagulante a partir da semente de *M. oleifera* em extração salina ultrafiltrada e em solução aquosa, a fim de verificar em qual meio as proteínas do coagulante seriam melhor solubilizadas. Os resultados apontaram que as proteínas foram melhor solubilizadas em solução de NaCl (42,82%) do que em água (6,3%). Os autores reforçam a importância da solução salina ao demonstrar que a análise total de concentração de proteínas nas sementes era igual a 44,56%. Desse modo, a extração das proteínas por extrato salino, com 42,82%, apresentou eficiência de 96%.

Carvalho et al. (2016) avaliaram a diferença entre dois extratos salinos (NaCl e CaCl₂) de *M. oleifera* na remoção de células de *Microcystis aeruginosa*, utilizando FAD. A água inicial apresentava valor de turbidez de 25 uT. A melhor eficiência foi verificada no coagulante com extrato salino de CaCl₂, na dosagem de coagulante de 50 mg L⁻¹, com remoção de células de 78,9%. Os autores concluíram que os extratos de CaCl₂ contendo sementes de *M. oleifera* são indicados para tratamento que objetivam a remoção de cianobactérias, inclusive em águas com baixa turbidez.

No Quadro 1 são dispostos alguns estudos que analisaram os efeitos da *M. oleifera* como coagulante no tratamento de água.

Quadro 1 - Pesquisas envolvendo o coagulante *Moringa oleifera* como agente coagulante para tratamento de água.

Descrição	Referência	Solução salina	Tratamento	Característica da água	Turbidez inicial (uT)	Dosagem de coagulante (mg L ⁻¹)	Principais resultados
Uso de tecnologias verdes para remoção de <i>Microcystis aeruginosa</i> na água, utilizando o coagulante <i>M. oleifera</i> e carvão natural	Teixeira et al., 2017	NaCl (1 M)	Flotação + filtração	Água sintética	11,6	-	<ul style="list-style-type: none"> - O coagulante <i>M. oleifera</i> removeu aproximadamente 80% das células de <i>Microcystis aeruginosa</i>. - A palha de côco, utilizada como carvão, foi capaz de adsorver o carbono dissolvido na água, reduzindo o valor do COD.
Fracionamento das proteínas das sementes de <i>M. oleifera</i> e sua aplicação no tratamento de águas superficiais	Baptista et al., 2017	NaCl (0,5 M)	Sedimentação	Água sintética	50	13	<ul style="list-style-type: none"> - A globulina e a albumina apresentaram os maiores valores de fração proteica em sementes de <i>M. oleifera</i>. - Ao utilizar somente globulina como coagulante, as remoções alcançadas foram de 87,40% para cor, 89,71% para turbidez e 79,46% para UV_{254nm}. - A globulina aplicada isoladamente, como coagulante, não ocasionou aumento excessivo de COD no tratamento proposto.
Uso do coagulante natural <i>M. oleifera</i> para o tratamento de água	Camacho et al., 2017	NaCl (1 M)	Sedimentação	Água sintética	30	50	<ul style="list-style-type: none"> - Remoção de turbidez maior que 80%; - Remoção de 45% dos compostos com Abs. ao UV_{254 nm}.
Aplicação do coagulante <i>M. oleifera</i> para remoção de microalgas	Moreno et al., 2016	NaCl (1 M)	Sedimentação	Água de rio	10	5 a 45	<ul style="list-style-type: none"> - O extrato de sementes de <i>M. oleifera</i> como coagulante foi eficaz na remoção das algas <i>Chlorella</i>, <i>Microcystis</i>, <i>Oocystis</i> e <i>Scenedesmus</i>; - As maiores dosagens de <i>M. oleifera</i> apresentaram as melhores remoções; - O uso do coagulante natural não ocasionou variações no pH.

Quadro 1 - Pesquisas envolvendo o coagulante *Moringa oleifera* como agente coagulante para tratamento de água.

Descrição	Referência	Solução salina	Tratamento	Característica da água	Turbidez inicial (uT)	Dosagem de coagulante (mg L ⁻¹)	Principais resultados
Uso do extrato salino (CaCl ₂) das sementes de <i>M. oleifera</i> como coagulante para remoção de <i>Microcystis aeruginosa</i>	Carvalho et al., 2016	NaCl (1 M) CaCl ₂ (1 M)	Flotação por ar dissolvido	Água sintética	25	50	<ul style="list-style-type: none"> - As extrações salinas se mostraram diferentes com relação à redução de turbidez e cor, sendo indicada a utilização de cloreto de cálcio como o sal de extração mais adequado. - Remoções de 80% para a cor e 60% para turbidez (CaCl₂).
Emprego do coagulante <i>M. oleifera</i> para remoção de células de <i>Dolichospermum flos aquae</i> presentes em água	Moreti et al., 2014	-	FAD	Água sintética	40	100 a 1000	<ul style="list-style-type: none"> - As sementes de <i>M. oleifera</i> trituradas foram eficientes para a remoção das cianobactérias e turbidez (80%) no processo de FAD; - A melhor dosagem de coagulante foi de 100 mg L⁻¹.

Fonte: o autor, 2018.

3.4 Matéria orgânica

Libânio (2010) e Matilainen et al. (2011) consideram a matéria orgânica natural (MON) presente na água, aquela composta por substâncias hidrofóbicas (SHs) - ricas em carbono aromático, com estruturas fenólicas, ligações duplas conjugadas, de alta massa molar, formada por compostos orgânicos de dimensões coloidais e de origem vegetal – e hidrofílicas – constituídas por carbono alifático e compostos mais simples de baixa massa molecular, como carboidratos, proteínas, açúcares e aminoácidos (substâncias não húmicas).

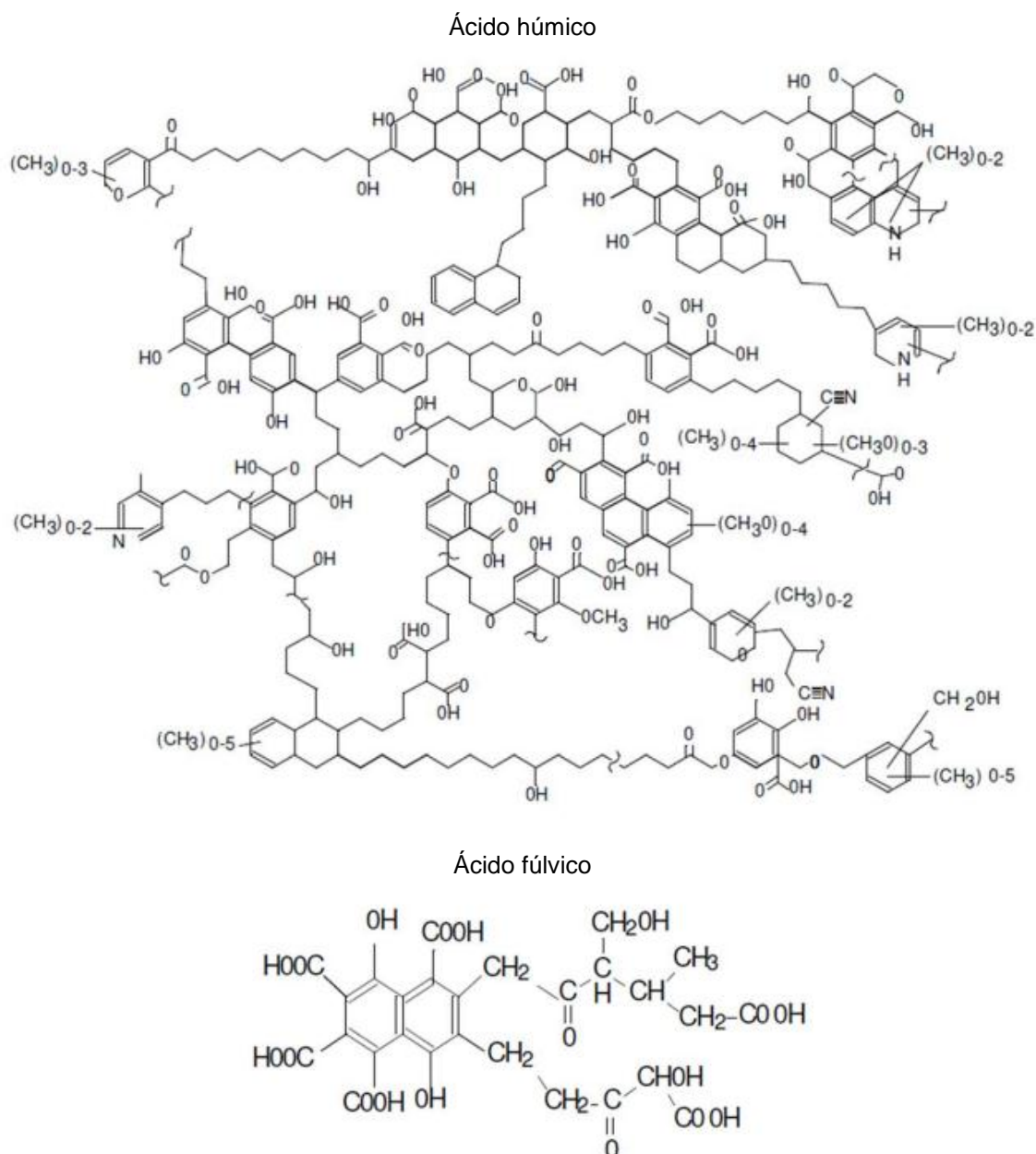
As SHs são formadas em função de uma mistura heterogênea de compostos, apresentando frações húmicas, fúlvicas e humina e tendo, desse modo, diferentes configurações de moléculas, configuração estrutural e grupos reativos (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

As huminas condizem com as frações de SHs que não são solúveis em água, independentemente do pH, estando fortemente ligadas a metais e argilas – característica que confere o caráter insolúvel (CAMPOS, 2011; EDZWALD; TOBIASON, 2011; MOBED et al., 1996).

Os ácidos húmicos (AHs) correspondem às frações que são solúveis em meio alcalino e insolúveis em pH inferior a 2 (dois). Possuem caráter mais aromático que os ácidos fúlvicos (AFs) (Figura 2), tendo composição elementar de, aproximadamente, 50% carbono, 5% hidrogênio e 40% nitrogênio (CALDERONI; SCHNITZER; 1984). Os AHs apresentam peso molecular entre 2.000 a 5.000 Dalton (Da) (THURMAN, 1985).

Os AFs são caracterizados como as frações de SHs solúveis em toda a faixa de pH. Sua estrutura é mais alifática, com predominância de ácidos carboxílicos, fenóis e cetonas – contribuindo, deste modo, para maior presença de oxigênio do que nos AHs (Figura 2) (SUFFET; MACCARTHY, 1988). Comparado aos AHs, possuem peso molecular mais baixo (entre 500 e 2.000 Da) (THURMAN, 1985). Em águas naturais, de modo geral, os AFs representam 90% das SHs dissolvidas, enquanto os outros 10% condizem aos AHs (MALCOLM; MACCARTHY, 1986; RODRIGUEZ; NUÑEZ, 2011).

Figura 2 - Estrutura química proposta para o ácido húmico e ácido fúlvico.



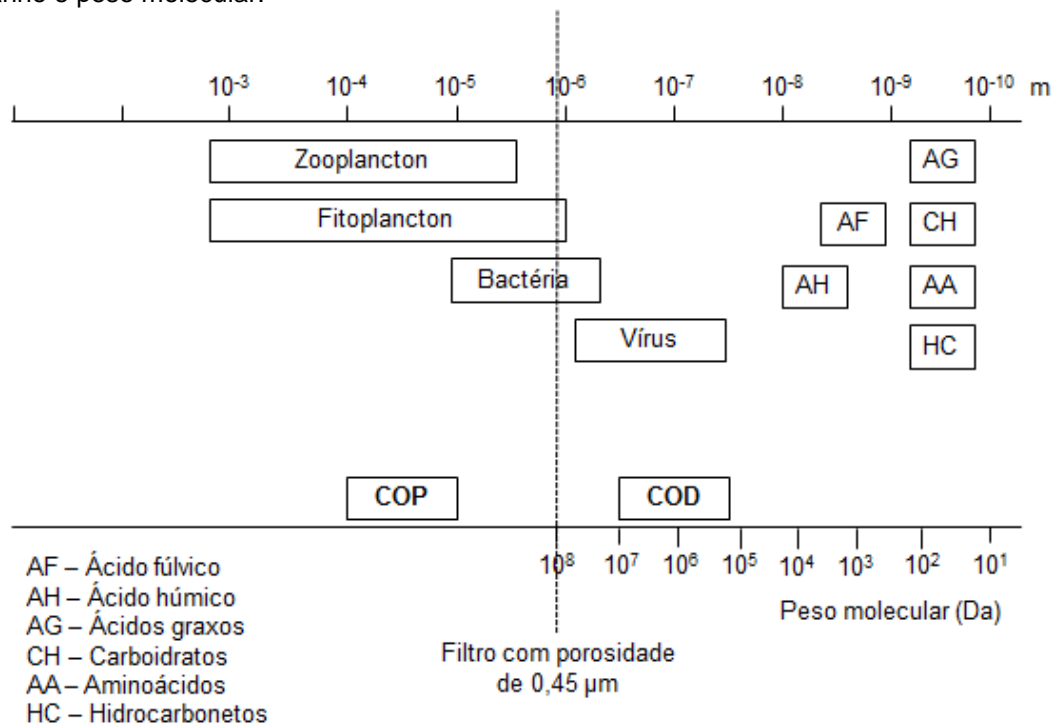
Fonte: Schulten (1995).

As SHs na água podem ser divididas em matéria orgânica dissolvida (MOD), sendo aquelas que não são retidas em filtro com porosidade de 0,45 μm , e matéria orgânica particulada (MOP), relativa às porções retidas pelo filtro (DANIELSSON, 1982; EDZWALD; TOBIASON, 2011). De acordo com Leal (2013), a fração de MOP pode ser facilmente removida por processos convencionais de tratamento de água que incluam a filtração tradicional.

Segundo Aiken (2002), usualmente o carbono orgânico dissolvido (COD) corresponde a aproximadamente 80% do COT presente na água. O COD é

originado da decomposição de plantas e animais, além das excreções geradas por estes organismos (carboidratos, proteínas, aminoácidos, dentre outros); o restante do COT (20%) corresponde ao carbono orgânico particulado (COP), sendo esta fração caracterizada pelo material advindo do fitoplâncton, zooplâncton e bactérias, e pelo COP detrital – matéria orgânica em suspensão, detrito orgânico particulado, dentre outros (PACHECO et al., 2004). Na Figura 3 são elencadas as características dos diferentes compostos relacionados à matéria orgânica em meio aquático, em função do tamanho e peso molecular.

Figura 3 - Frações de matéria orgânica (COP e COD) distribuídas em meio aquático, de acordo com o tamanho e peso molecular.



Fonte: Adaptado de Thurman, 1985.

Sobre a concentração de COD em águas naturais, Meybeck (1982) afirma que o valor médio detectado é de 5 mg L⁻¹, com variação da concentração relacionada às condições climáticas de cada região: taiga - 10 mg L⁻¹; tropical úmida - 6 mg L⁻¹; temperada - 3 mg L⁻¹; e tundra - menor que 3 mg L⁻¹. Suhett (2007) alega que a concentração de COD é alterada em função de eventos sazonais, como chuvas, por exemplo.

A presença e caracterização de SHs na água pode ser realizada, indiretamente, em função da concentração de COD, da capacidade de absorvância

ao UV_{254nm} (WIECHETECH et al., 2004), do COT (ESQUIVEL, 2012), SUVA e da espectroscopia de fluorescência molecular de emissão, excitação, sincronizados e matrizes excitação/emissão (MEE) (CHEN et al., 2002; OLIVEIRA et al., 2006).

A técnica de espectroscopia de fluorescência molecular de emissão, excitação, sincronizados e MEE também é muito utilizada na caracterização da MON (MA et al., 2017; RICHARD et al., 2011; ZHOU et al., 2016). As MEE demonstram a distinção deste material em meio aquático, em função da capacidade da espectroscopia de fluorescência absorver energia radiante em um dado comprimento de onda e da emissão desta radiação em um comprimento de onda superior, encontrada em diversos compostos orgânicos e inorgânicos (SAWYER; MCCARTY; PARKIN, 1994).

Algumas bandas são características de determinados compostos, sendo comumente associados picos de emissão e excitação para cada um destes. Coble (1996) demonstrou a presença de cinco picos principais de fluorescência: *B* (proteínas), *T* (proteínas), *A* (SHs terrestres), *M* (SHs aquáticas) e *C* (SHs terrestres). Matilainen et al. (2011), ao estudarem os métodos usados na caracterização da MON, revisaram acerca dos picos de fluorescência, demonstrando as faixas de EM/EX utilizadas atualmente para os principais picos de componentes relacionados a MON (Tabela 1).

Tabela 1 - Picos principais de fluorescência relacionados à matéria orgânica.

Pico	Excitação (nm)	Emissão (nm)	Composto	Referências
B	270-280	310-320	Tirosina / proteína	Coble (1996) e Baghot et al. (2009)
T	270-285 (220- 235)	340-360	Triptofano/ proteína	Coble (1996), Spencer et al. (2007), Baker et al. (2008), Hudson et al. (2008), e Baghoth et al. (2009)
A	320-350	400-450	Ácido fúlvico (SHs terrestres)	Spencer et al. (2007) e Baker et al. (2008)
M	310-320	380-420	SHs aquáticas	Coble (1996) e Baghoth et al. (2009)
C	330-390	420-500	Ácido húmico (SHs terrestres)	Coble (1996), Spencer et al. (2007), and Baghoth et al. (2009)

Fonte: Adaptado de Matilainen et al., 2011.

Baghoth et al. (2011) utilizaram as MEE para analisar o comportamento da MON em uma ETA e concluíram que esta é uma ferramenta alternativa e eficiente para avaliar a remoção deste material. Bieroza et al. (2009), ao

empregarem a mesma técnica, demonstraram que a medição da intensidade do pico de fluorescência “C” pode ser utilizada para a predição da formação de THM, uma vez que a propriedade de fluorescência, neste pico, correlacionou-se com a quantidade total de precursores orgânicos.

Já os espectros de fluorescência de emissão sincronizada demonstram as bandas de absorção da MON. As proteínas – aminoácidos triptofano e tirosina - são detectadas em bandas entre 270 e 310 nm (FERRARI; MINGAZZINI, 1995; PEURAVUORI et al., 2002). No que concerne às SHs, os AFs apresentam bandas próximas de 450 nm, enquanto os AHs, bandas entre 465 e 500 nm (PEURAVUORI et al., 2002; SENESI, 1990).

A absorvância ao UV específico (SUVA) é determinada pela relação entre a absorvância ao UV_{254nm} e o COD, conforme demonstrado na Equação 1. Este parâmetro pode ser utilizado como indicativo da composição da matéria orgânica presente na água.

$$\text{SUVA} = (\text{UV}_{254\text{nm}} \times 100) / \text{COD} \quad (\text{Eq. 1})$$

em que SUVA é a absorvância específica (L mg⁻¹ m⁻¹); UV_{254nm} é a absorvância ao UV_{254nm} (cm⁻¹); COD é o carbono orgânico dissolvido (mg L⁻¹); e o valor 100 corresponde ao fator de conversão (cm para m).

Edzwald e Tobiason (1999) determinaram o uso da SUVA para caracterizar a natureza da MON, a influência que esta exerce na coagulação, bem como a fração de COD removida, conforme pode-se observar na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores de SUVA: composição da MON, influência da MON na coagulação e porcentagem de COD removida.

SUVA	Composição	Coagulação	COD removido
> 4	Principalmente substâncias húmicas. Alta hidrofobicidade, alta massa molar	Controle da MON, boa remoção do COD	> 50% para sulfato de alumínio, um pouco maior para sais férricos
2 - 4	Mistura de substâncias húmicas e outros tipos de MON; mistura de MON hidrofílica e hidrofóbica; mistura de massas molares	Influência da MON, remoção intermediária do COD	25 – 50% para sulfato de alumínio; um pouco maior para sais férricos
< 2	Principalmente substâncias não húmicas. Baixa hidrofobicidade. Baixa massa molar.	MON tem pouca influência. Baixa remoção do COD	< 25% para sulfato de alumínio, um pouco maior para sais férricos

Fonte: adaptado de Edzwald e Tobiason, 1999.

Ao observar a Tabela 2, é possível concluir que, para a coagulação, as melhores remoções de COD estão atreladas às águas com alto teor de SHs, enquanto que, em águas compostas por substâncias não húmicas, a remoção é menor.

3.5 Trihalometanos

É primordial que os processos de coagulação e floculação atuem de modo eficiente na remoção das impurezas presentes na água. Caso contrário, na etapa de desinfecção, há possibilidade de formação de subprodutos prejudiciais à saúde humana.

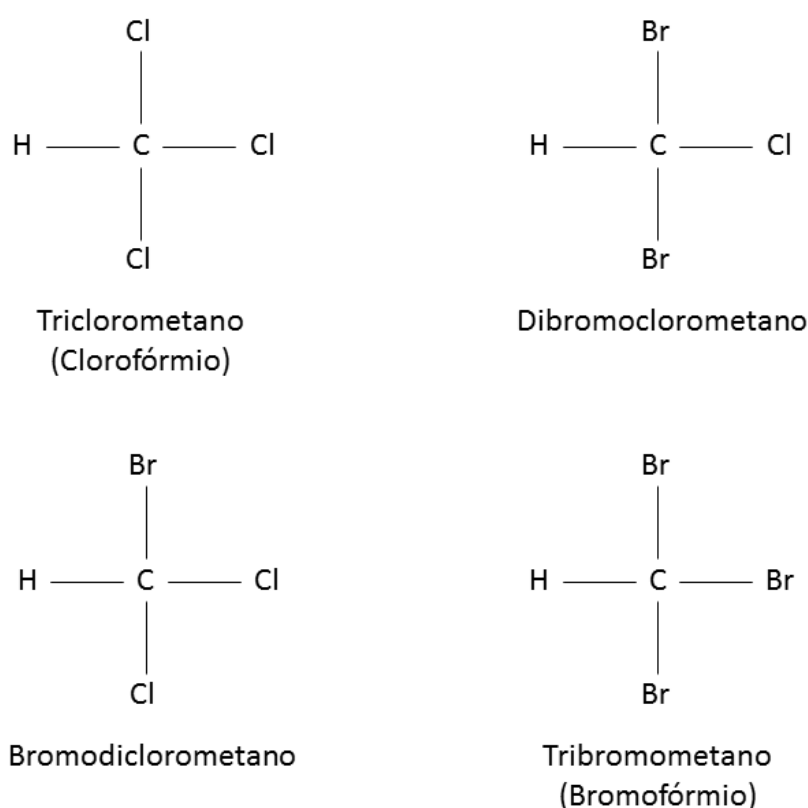
Em meio a diversos processos existentes para a desinfecção da água, o mais utilizado é aquele que emprega o cloro e/ou compostos clorados. As principais vantagens do cloro, em relação a outros agentes desinfetantes, são: eficiência na remoção de microrganismos patogênicos; custo baixo; fácil disponibilidade; e persistência na água – o que possibilita permanência na água até o término da distribuição à população (ZHAO et al., 2004).

Em uma ETA, caso a água contenha compostos orgânicos na etapa de desinfecção, na reação destes compostos com o cloro ocorre a formação de

subprodutos, dentre eles os ácidos haloacéticos, haloacetonas, haloacetonitrilas e os trihalometanos (THMs) (CHOWDHURY; AMY, 1999; SANTOS, 1987).

Os THMs formados consistem, primordialmente, em clorofórmio, clorodibromometano, diclorobromometano e o bromofórmio. Na Figura 4 são ilustradas as formas estruturais de cada elemento. Destes, o clorofórmio é o que se apresenta em maior concentração nas águas já tratadas pelas ETAs (PAVÓN et al., 2008).

Figura 4 - Estrutura química dos principais THMs.



Fonte: adaptado de Meyer, 1994.

Dentre os malefícios ocasionados pelos THMs, constam o desenvolvimento de câncer de bexiga urinária e retal e abortos espontâneos (MEYER, 1994). Deste modo, é essencial que os precursores dos THMs sejam completamente removidos da água de consumo, ou reduzidos ao máximo, a fim de mitigar tais efeitos. No Brasil, o valor máximo permitido para trihalometanos totais em água é de $100 \mu\text{g L}^{-1}$ (BRASIL, 2011).

Acerca dos precursores de THMs, Van Bremen (1984) afirma que a maioria dos ácidos fúlvicos e húmicos contém radical cetona – que podem causar a

formação de THMs, após a reação com o cloro. Além dos AHs e AFs, aminoácidos e compostos fenólicos, que apresentam disposição semelhante ao observados nas SHs e SFs, também são considerados precursores (MEYER, 1994; TOR e AYDIN, 2006).

A reação de formação dos THMs ocorre enquanto houver cloro e precursores na água. As principais variáveis que interferem na formação são: tempo de contato, temperatura, pH, concentração de brometo e iodeto, características e concentrações dos precursores e concentração de cloro. De modo geral, quanto maior os valores destas variáveis, maior a probabilidade de formação de THMs (MEYER, 1994; NIKOLAOU et al., 2004).

A respeito das características e concentração dos precursores, sabe-se que o uso dos coagulantes naturais (como a *M. oleifera*) acarreta no aumento da matéria orgânica presente na água (CAMACHO et al., 2017; CARVALHO et al., 2016; POUMAYE et al., 2012). No entanto, alguns autores demonstraram que é possível utilizar o coagulante *M. oleifera* sem ocasionar aumento na concentração de THMs (ABE et al., 2014; SANTOS et al., 2013). Deste modo, é fundamental que seja estudada a interferência destes coagulantes naturais na formação de THMs, visto que a inserção destes coagulantes em água não necessariamente ocasiona formação de THMs.

4 METODOLOGIA

4.1 Testes preliminares

No início do estudo, optou-se por trabalhar com água sintética acrescida de ácido húmico (AH), visto que haveria controle da quantidade de AH inserida e, conseqüentemente, seriam obtidos valores iniciais próximos de carbono orgânico dissolvido (COD). No entanto, com as análises de carbono orgânico total, verificou-se a ocorrência de oscilações na concentração de AH e COD em uma ampla faixa de pH, mesmo quando a avaliação foi realizada em um mesmo lote de água.

Além dos testes realizados em água sintética acrescida de AH, também foram realizados experimentos com o mesmo intuito - controlar a concentração de COD inicial, em águas com as seguintes características:

- ✓ Água sintética + ácido húmico + caulim;
- ✓ Água ultrapura + ácido húmico;
- ✓ Água de manancial + água de torneira + ácido húmico;
- ✓ Água de manancial.

Ao realizar os testes nas águas acima elencadas, observou-se o mesmo problema ocorrido na primeira condição de água – exceto em água de manancial. Nesta, os valores do COD se mantiveram mais semelhantes, o que permitia trabalhar em água com concentração de COD inicial próxima.

Desse modo, definiu-se como água de estudo a água de manancial, devido à menor oscilação do parâmetro COD.

4.2 Água de estudo

A água de estudo utilizada neste trabalho foi proveniente de um manancial localizado na região metropolitana de Curitiba/PR. Foram realizadas várias coletas de água ao longo do ano sendo que, em cada uma delas, era coletado um volume aproximado de 60 L, suficiente para realização dos testes na mesma condição de qualidade da água. O volume coletado era armazenado em geladeira a 4 °C até o momento do uso.

Foram definidas três condições iniciais de turbidez para realização dos experimentos: 10, 20 e 30 uT. Optou-se por trabalhar com estes valores de turbidez devido aos poucos estudos realizados em águas de baixa turbidez utilizando o coagulante *M. oleifera*, como também pelo monitoramento realizado por Souza (2012), o qual aponta o valor de turbidez de 25 uT como máximo observado em manancial utilizado como fonte de abastecimento de água para a região de Curitiba.

Para atingir a turbidez desejada, apenas realizou-se diluição, quando necessário, utilizando água do próprio manancial com turbidez menor, coletada de outro local. O pH foi mantido na faixa de 7,5 a 8,0 e a temperatura em torno de 20 °C.

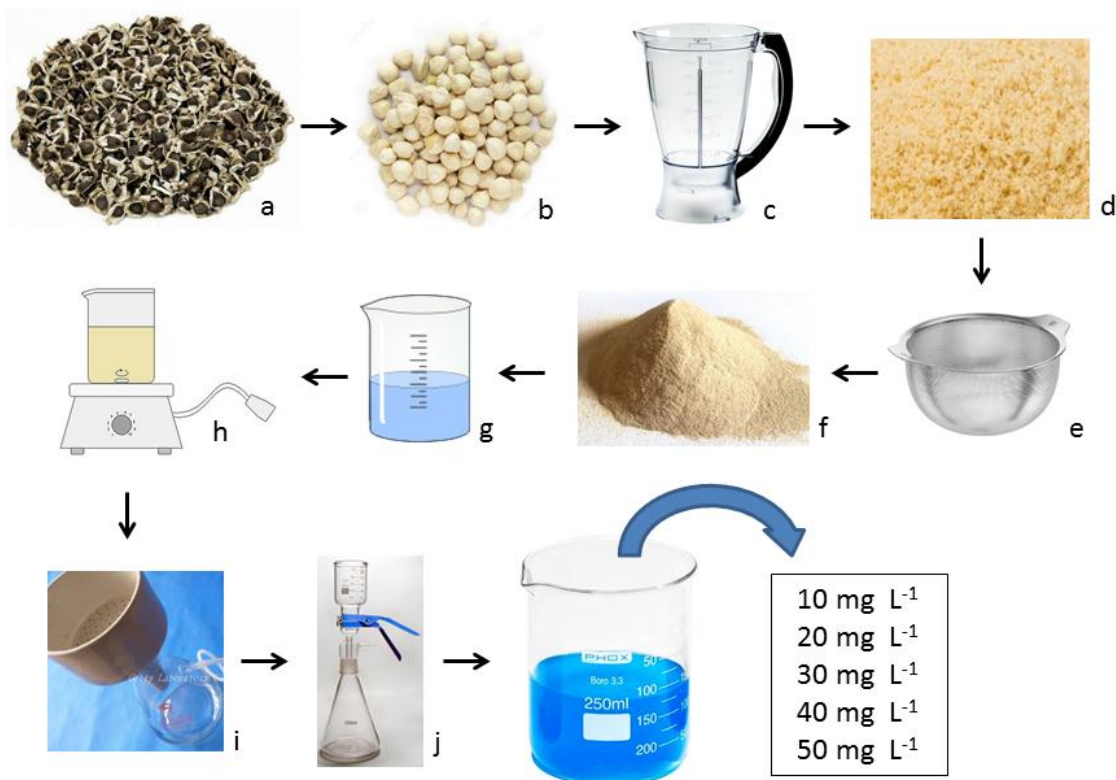
4.3 Preparo da solução coagulante a partir de sementes de *Moringa oleifera* e do PAC

O preparo do coagulante a partir de sementes de *M. oleifera* está representado na Figura 5, e, foi realizado de acordo com as seguintes etapas: inicialmente, as sementes (a) foram descascadas manualmente; (b) depois trituradas em um liquidificador (c); em seguida, o material triturado (d) foi passado por uma peneira de metal (e), de 270 mesh; na sequência, o pó das sementes (f) foi misturado com solução salina de CaCl_2 1 M (g), sendo então agitada em um *mixer* (h) por 30 minutos, com velocidade de 300 rotações por minuto (rpm); ao término da agitação, foram realizadas duas filtrações da solução contendo as sementes: a

primeira (i), em papel de filtro (28 μm); e a segunda (j), em membrana de fibra de vidro (0,45 μm) (MADRONA et al., 2010).

Para a elaboração da solução salina de CaCl_2 1 M, utilizada para extração das proteínas, seguiu-se as recomendações descritas por Beltrán-Heredia e Sánchez-Martin (2009).

Figura 5 - Representação esquemática das etapas do preparo do coagulante *M. oleífera*.



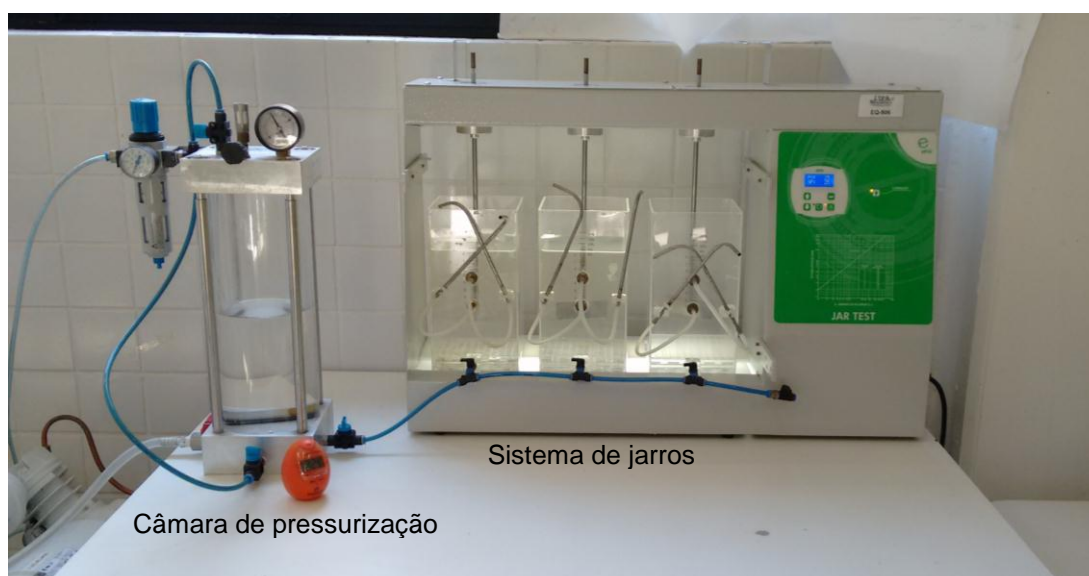
Fonte: O autor, 2018.

A solução coagulante a partir de sementes de *M. oleífera* foi preparada em concentração de 10 g L⁻¹, a partir da massa inicial de pó de semente adicionado para a extração (CARVALHO, 2015). Já a solução de PAC foi elaborada com a concentração de 5 g L⁻¹, de uma solução disponibilizada pela Companhia de Saneamento do Paraná (densidade: 1,26 g cm⁻³; Al₂O₃: 10,53% m/m; basicidade livre: 64,25% m/m).

4.4 Desenvolvimento experimental

Os ensaios com os coagulantes foram realizados no Laboratório de Tratamento e Potabilização de Água, na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, no equipamento Floteste (Nova Ética - modelo 218/3), que é constituído por uma câmara de pressurização, jarros de coagulação/floculação/flotação e de uma câmara de pressurização (Figura 6).

Figura 6 - Fotografia do Equipamento Floteste, utilizado nos ensaios de coagulação, floculação e flotação por ar dissolvido.



Fonte: O autor, 2017.

Os parâmetros operacionais para coagulação, floculação e flotação foram adotados de acordo com Di Bernardo (2003) e Carvalho et al. (2016), em que:

- Coagulação:
 - Gradiente de mistura rápida (G_{mr}): 1000 s^{-1} ;
 - Tempo de mistura rápida (T_{mr}): 10 s.
- Floculação:
 - Gradiente de mistura lenta (G_f): 25 s^{-1} ;
 - Tempo de mistura lenta (T_f): 15 min;

- Flotação:
 - Pressão de saturação (P_{sat}): 4 bar;
 - Tempo de saturação (T_{sat}): 8 min.;
 - Taxa de recirculação (R): 10%;
 - Velocidade de flotação (V_f): 5 cm min⁻¹ (72 m³ m⁻² dia⁻¹).

Ensaio foram efetuados para verificar as melhores dosagens do coagulante extraído de semente de *M. oleifera* na remoção dos parâmetros propostos. As dosagens avaliadas foram de 10, 20, 30, 40 e 50 mg L⁻¹. Todos os ensaios foram realizados em triplicata.

A partir dos melhores resultados obtidos nos ensaios com o coagulante preparado a partir da *M. oleifera*, foram definidas as dosagens a serem associadas com o PAC, em cada condição de turbidez. Foram avaliadas as substituições de 10, 20 e 30% do coagulante de *M. oleifera* pelo PAC. Para facilitar a compreensão, segue exemplo destas substituições, se considerada dosagem de coagulante de 50 mg L⁻¹, nas proporções *M. oleifera*:PAC:

MO:PAC

- 90:10 - 45 mg L⁻¹ de *M. oleifera*; 5 mg L⁻¹ de PAC;
- 80:20 - 40 mg L⁻¹ de *M. oleifera*; 10 mg L⁻¹ de PAC;
- 70:30 - 35 mg L⁻¹ de *M. oleifera*; 15 mg L⁻¹ de PAC.

4.5 Métodos analíticos

Os parâmetros apresentados na Tabela 3 foram utilizados durante o monitoramento, controle e caracterização de todas as etapas realizadas, sendo que os métodos analíticos estiveram de acordo com a APHA, AWWA e WPCF (2012).

Tabela 3 - Parâmetros analíticos e respectiva metodologia.

PARÂMETRO	METODOLOGIA	EQUIPAMENTO
pH	Potenciometria	pHmetro mPA210 MS Tecnopon
Cor Aparente (mg PtCo L ⁻¹)	Redução da Intensidade da Luz ($\lambda = 455\text{nm}$)	Espectrofotômetro UV-5100 Global Trade Technology
Turbidez (uT)	Nefelométrico	Turbidímetro TurbiCheck
Carbono Orgânico Total (mg L ⁻¹)	Oxidação com dióxido de carbono por digestão com persulfato de sódio	Thermo Scientific Hiper TOC
Absorbância	Absorbância ($\lambda = 254\text{nm}$)	Espectrofotômetro UV-5100 Global Trade Technology
Residual de alumínio	DPD Colorimétrico 4500-G	Espectrofotômetro UV-5100 Global Trade Technology

Fonte: O autor, 2017.

Nas próximas seções serão descritos os métodos aplicados para a quantificação de COD, Espectrometria de Absorção e Luminescência Molecular, e THMs.

4.5.1 Concentração de COD

As análises de carbono orgânico dissolvido não-purgável (CODNP) foram realizadas conforme método USEPA 415.3 (2009). O equipamento utilizado como analisador corresponde ao Thermo Hiper TOC, operado por oxidação com dióxido de carbono por digestão com persulfato de sódio. As amostras foram previamente filtradas em membrana de acetato de celulose, com porosidade de 0,45 μm . Logo após a filtração, as amostras foram acidificadas com H₂SO₄ (3N) até pH inferior a 2, com o intuito de eliminar o carbono inorgânico presente nas amostras, e estas foram mantidas sob refrigeração a 4 °C até o momento da análise.

As leituras das amostras foram realizadas em triplicata, e o valor médio obtido foi considerado como resultado final. Antes das leituras, foram verificadas, através do preparo e análise de um padrão de COT de concentração conhecida, a

curva analítica e as condições de operação do equipamento. Foram inseridas duas curvas analíticas (APÊNDICE A e B) no equipamento, situando-se entre as concentrações de 0,1 a 10 mg L⁻¹ e 10 a 100 mg L⁻¹, respectivamente.

4.5.2 Espectrometria de Absorção e Luminescência Molecular

4.5.2.1 Absorbância ao UV_{254nm}

Para a análise da absorbância, as amostras foram filtradas em membrana de acetato de celulose 0,45 µm de porosidade. As amostras, após filtração, foram analisadas em espectrofotômetro, em cubeta de quartzo com caminho ótico de 10 mm, em comprimento de onda igual a 254 nm (USEPA 415.3, 2009).

4.5.2.2 Espectros de Emissão/Excitação de fluorescência

As análises de fluorescência e sincronizado foram realizadas no Laboratório Multiusuário de Análises Químicas (LAMAQ), na Universidade Tecnológica Federal do Paraná. As matrizes de excitação/emissão foram obtidas através do espectrofluorímetro Cary Eclipse, utilizando-se lâmpada de xenônio a voltagem de 900 V. Adotaram-se fendas de 5 nm tanto para emissão quanto para excitação. Os espectros foram obtidos em modo *scan* de emissão, entre os comprimentos de onda de 200 e 600 nm para emissão e excitação (BAGHOTH et al., 2009; COBLE, 1996; SPENCER et al., 2007). O mesmo intervalo foi aplicado na análise do espectro de fluorescência sincronizado, com $\Delta\lambda = 15$ nm. A velocidade de varredura foi de 9600 nm/min, com intervalo de 5 nm para emissão e excitação, com cubeta de quartzo de 1 cm.

4.5.3 Trihalometanos

A análise de THMs foi realizada conforme metodologia indicada no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, AWWA, WPCF, 2012), no método 6200B referente à análise de compostos voláteis através de cromatografia gasosa, acoplada ao detector de massas, em coluna capilar e método de extração Purge and Trap (P&T). O limite de quantificação validado para o método é de $1 \mu\text{g L}^{-1}$.

Para determinação da concentração de THMs foi adicionado cloro livre às amostras recolhidas, sendo este suficiente para alcançar concentração de cloro residual de $1 (0,2) \text{ mg L}^{-1}$ de Cl_2 após 24 h de tempo de contato a aproximadamente $25 \text{ }^\circ\text{C}$. O cloro livre residual foi determinado em laboratório por meio de kit comercial “Spectro Kit Cloro DPD Livre” da marca Alfakit, utilizado para determinação de cloro DPD Livre na água através de leitura em espectrofotômetro (515 nm). O método baseia-se na metodologia do DPD Colorimétrico 4500-G, onde o cloro livre oxida o DPD (N,N-dietil-p-fenilenediamina) para formar um complexo róseo de intensidade de cor diretamente proporcional com a concentração de cloro (APHA, AWWA, WPCF, 2012).

As amostras foram analisadas em triplicata, sendo transferidas diretamente em *vials* de 50 mL preenchidos em sua totalidade. As amostras foram mantidas sob refrigeração a $4 \text{ }^\circ\text{C}$ até o momento de sua análise, sendo o período máximo de armazenamento de 7 dias.

As análises de THMs foram realizadas em todas as dosagens associadas de *M. oleifera* e PAC.

4.6 Análise estatística

Primeiramente, foi realizado o teste de Shapiro Wilk, a fim de verificar se a distribuição dos dados era normal. Em seguida, os resultados foram avaliados pela análise de variância (ANOVA), com intervalo de confiança de 95% e pelo pós-

teste de Tukey, o qual permitiu verificar e indicar onde estavam as diferenças nas remoções dos parâmetros analisados.

5 RESULTADOS

Os resultados serão apresentados em três seções: a primeira corresponde à avaliação da influência da dosagem do coagulante *M. oleifera*; na segunda serão discutidos os efeitos deste coagulante associado ao policloreto de alumínio (PAC); na terceira, será analisada a interferência dos coagulantes *M. oleifera* puro e associado ao PAC na formação de THMs.

5.1 Influência da dosagem do coagulante de *Moringa oleifera* no tratamento de água

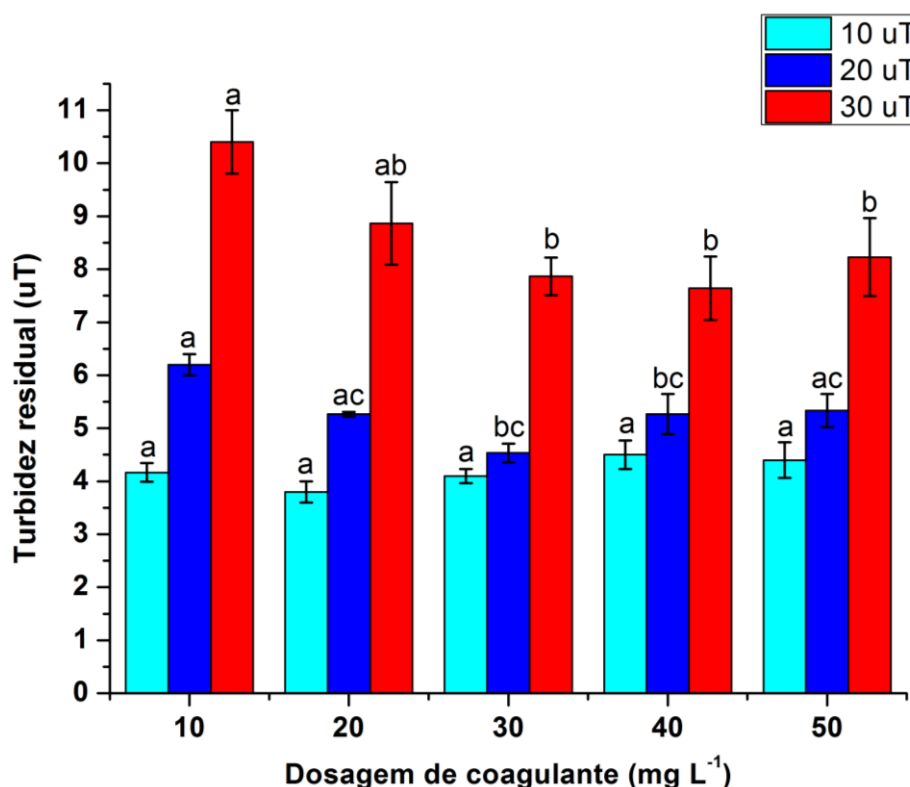
Nesta seção serão apresentados e discutidos os resultados obtidos nos ensaios referentes ao primeiro objetivo proposto. Foram avaliadas as remoções dos parâmetros turbidez, cor e matéria orgânica.

Os resultados foram dispostos em função das três diferentes condições de água adotadas neste estudo (turbidez 10, 20 e 30 uT), nas quais foram aplicadas diferentes dosagens de solução coagulante obtida a partir de sementes de *M. oleifera*.

5.1.1 Ensaio de C/F/FAD para avaliar a remoção de turbidez

A turbidez inicial e pós-tratamento nas três condições de turbidez estudadas, em função das dosagens de coagulantes utilizadas, são ilustradas na Figura 7.

Figura 7 - Turbidez residual, em água com turbidez de 10, 20 e 30 uT, em diferentes dosagens do coagulante *M. oleifera*.



Água 10 uT - Turbidez inicial: 10,6 uT ± 0,4.

Água 20 uT - Turbidez inicial: 20,8 uT ± 0,7.

Água 30 uT - Turbidez inicial: 29,4 uT ± 0,7.

Legenda: letras diferentes indicam diferença estatística (Teste Tukey, $p < 0,05$).

Fonte: O autor, 2018.

Na Figura 7 é possível observar que em água a 10 uT, após o tratamento, não houve diferença estatística entre as diferentes dosagens de coagulante e, desse modo, a melhor dosagem de coagulante é de 10 mg L⁻¹, visto que será utilizada menor quantidade de coagulante, causando o mesmo efeito do que em dosagens superiores. O valor residual obtido (3,6 uT) foi menor do que o encontrado por Yarahmadi et al. (2009), que foi de 5,5 uT, utilizando a mesma dosagem de coagulante, ao trabalharem em água com turbidez próxima a 8 uT; no entanto, o tratamento proposto por estes autores foi realizado em água destilada contendo caulim, sendo empregada sedimentação e, para extração das proteínas da *M. oleifera*, foi utilizada solução salina de NaCl 1 M.

Na água com turbidez de 20 uT (Figura 7), após o tratamento, o menor valor residual obtido foi de 4,5 uT, na dosagem de 30 mg L⁻¹. No entanto, pode-se considerar como melhor dosagem de coagulante 20 mg L⁻¹, uma vez que, estatisticamente (95% de confiança), dosagens superiores causaram o mesmo

efeito. Porém, não há possibilidade da redução desta dosagem, dado que houve diferença estatística pelo pós-teste de Tukey. Carvalho et al. (2016), ao trabalharem com água sintética contendo ácido húmico e cianobactérias, em turbidez de 25 uT, com dosagem de coagulante de 50 mg L⁻¹ de extrato salino (CaCl₂) de *M. oleifera*, obtiveram maior residual de turbidez (10,7 uT) do que neste trabalho (5,5 e 8,3 uT, para águas com 20 e 30 uT, respectivamente).

Na água com turbidez de 30 uT (Figura 7), o menor residual (7,8 uT) foi verificado na dosagem de 40 mg L⁻¹. Também é possível perceber que, a partir da dosagem de 20 mg L⁻¹, todos os residuais obtidos são iguais, com 95% de confiança.

De modo geral, com relação à turbidez, foi possível verificar que a melhor dosagem de *M. oleifera* aumentava à medida que se aumentava a turbidez. Pritchard et al. (2010a) afirmam que, quanto maior a turbidez da água, maior a presença de material coloidal carregado negativamente e, assim, são necessárias maiores quantidades de coagulantes carregados positivamente para desestabilizar as cargas presentes. De acordo com Gassenschmidt et al. (1995) e Ndabigengesere et al. (1995), essa tendência poderia estar relacionada ao mecanismo de coagulação da *M. oleifera* – baseada nas colisões entre partículas para desestabilizar a suspensão por neutralização de carga.

Paiva e Coelho (2011) apontaram que a lectina, principal proteína relacionada à atividade coagulante da *M. oleifera*, apresenta peculiaridades específicas que a fazem se unir ao ácido húmico, de maneira preferencial em relação a outros compostos. Bongiovani (2013) afirma que, em águas que contém substâncias de baixa massa molar (substâncias não húmicas), o mecanismo de remoção predominante, na coagulação, é a adsorção, em que são necessárias altas concentrações de coagulante para que tais compostos sejam removidos de modo eficiente.

A melhor eficiência do coagulante *M. oleifera* em água de manancial, se comparado com estudos realizados em água sintética, pode ser explicada devido a maior presença de compostos na água (argilas, matéria orgânica, proteínas, dentre outros). Estas substâncias podem propiciar maiores condições para interação com as proteínas solúveis da *M. oleifera* - aumentando, desse modo, a eficiência de remoção (JOSHUA; VASU, 2013). Baptista et al. (2017) afirmam que águas de maior

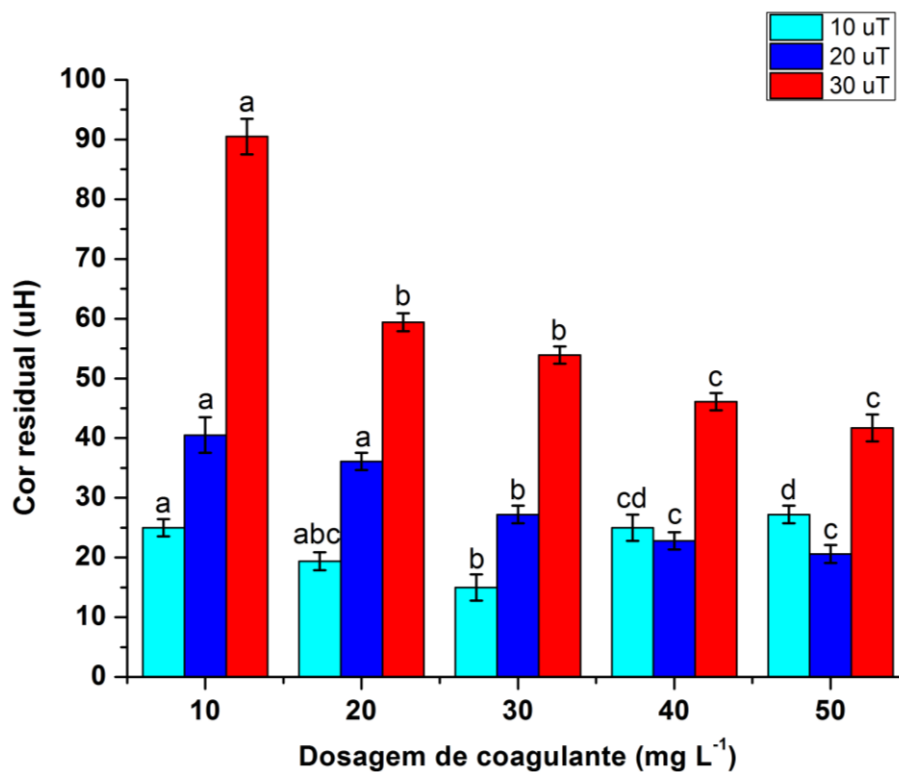
turbidez apresentam elevado número de partículas, aumentando a probabilidade de colisão e formação de flocos pelo coagulante.

5.1.2 Ensaio de C/F/FAD para avaliar a remoção da cor

Conforme descrito anteriormente, as condições iniciais dos experimentos foram condicionadas ao controle do parâmetro turbidez. Assim, os valores iniciais do parâmetro cor estavam atrelados àquelas condições – não sendo estabelecida uniformidade inicial.

Na Figura 8 são ilustrados os valores de cor iniciais e pós-tratamento, em função das dosagens de coagulantes utilizadas, nas três diferentes condições de turbidez.

Figura 8 - Cor residual, em água com turbidez de 10, 20 e 30 uT, em diferentes dosagens do coagulante *M. oleifera*.



Água 10 uT – Média cor inicial: 53,5 uH (5,4).

Água 20 uT – Média cor inicial: 82,2 uH (3,4).

Água 30 uT – Média cor inicial: 178,4 uH (7,7).

Legenda: letras diferentes indicam diferença estatística (Teste Tukey, $p < 0,05$).

Fonte: O autor, 2018.

Observa-se na Figura 8 que, na água com turbidez de 10 uT, somente ao se utilizar 30 mg L⁻¹ de dosagem de coagulante, o valor obtido encontrou-se abaixo de 15 uH - limite máximo permitido pela Portaria 2914 (BRASIL, 2011) após tratamento completo. A análise estatística (95% de confiança) apontou que a melhor dosagem foi a de 20 mg L⁻¹. Também foi possível observar que, após a dosagem de coagulante de 30 mg L⁻¹, a eficiência de remoção foi reduzida, conforme se aumentava a concentração de coagulante. Não foram encontrados, na literatura, outros trabalhos que estudaram águas com cor inicial baixa - menor do que 50/60 uH.

Também na Figura 8 é possível verificar que, para a água com turbidez de 20 e 30 uT, os menores valores residuais eram obtidos conforme se aumentava a dosagem do coagulante. As melhores dosagens, com 95% de confiança, para ambas as condições de turbidez (20 e 30 uT), foi de 40 mg L⁻¹.

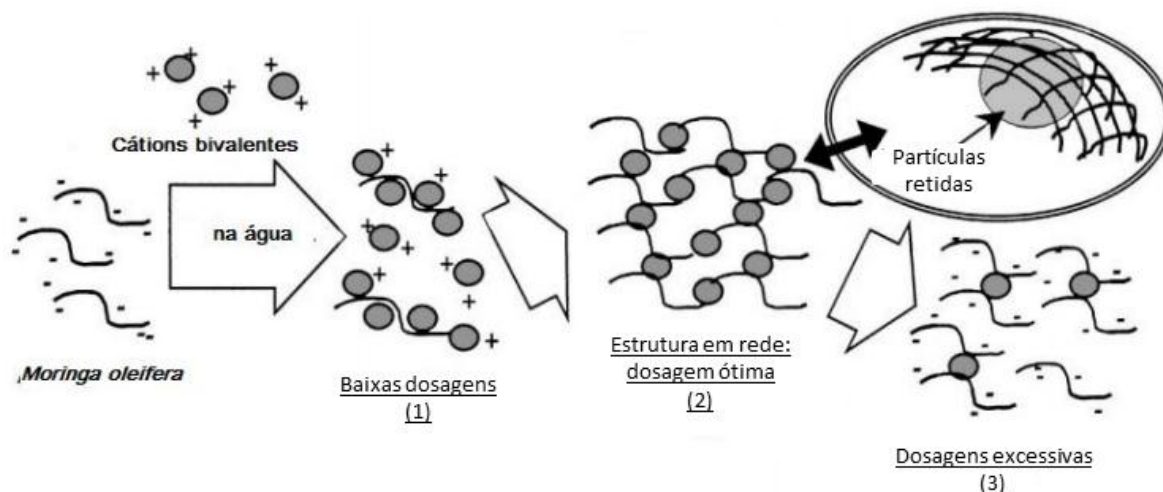
Pode-se sugerir a partir da Figura 8 que, em águas de manancial que apresentam cor inicial na faixa de 80 a 180 uH (no caso, as águas com 20 e 30 uT), é provável que a eficiência seja melhor quando utilizada dosagem de coagulante igual ou superior a 50 mg L⁻¹, visto que, neste estudo, não foram realizados testes com dosagens maiores do que esta e, no resultado disposto no gráfico, seriam necessários testes com dosagens superiores para encontrar a melhor dosagem. Já em águas naturais com valores de cor inferiores a 60 uH (água 10 uT), recomenda-se dosagens iguais ou inferiores a 30 mg L⁻¹.

Santos et al. (2014), ao trabalharem com água de rio (153 uH), utilizando FAD e coagulante *M. oleífera* (30 mg L⁻¹) extraído com solução salina de NaCl 1M, obtiveram remoção (53,6%) inferior a obtida nesta pesquisa (69,1%) ao utilizarem mesma dosagem de coagulante, em água com turbidez inicial de 30 uT. O melhor resultado obtido nesta pesquisa, em relação ao trabalho dos autores supracitados, pode estar relacionado ao sal utilizado para a extração das proteínas da *M. oleífera*.

Carvalho (2015), ao comparar a ação dos dois sais (CaCl₂ e NaCl) utilizados na extração do coagulante à base de sementes de *M. oleífera* na remoção de células de *Microcystis aeruginosa*, constatou que não há diferença na capacidade de extração proteica ao utilizar um ou outro sal. Já Okuda et al. (2001) sugerem que seja possível que os sais bivalentes participem da formação de uma rede de flocos com as proteínas extraídas, com capacidade para capturar as partículas em

suspensão. Os cátions bivalentes podem ser adsorvidos aos componentes ativos com carga negativa – o componente ativo, neste caso, estaria conectado aos outros componentes por cátions bivalentes, possibilitando a formação de uma estrutura semelhante a uma rede (Figura 9).

Figura 9 - Mecanismo de atuação do coagulante obtido a partir de extração salina (CaCl_2 1M) de *M. oleifera*.



Fonte: adaptado de Okuda et al. (2001).

Os mesmos autores afirmam que os cátions bivalentes (como o Ca^{2+}) possuem propriedade de se autossubstituir por outros íons – se aglomerando com as partículas e a rede de coagulante; já com os cátions monovalentes (como o Na^+), a formação desta rede não é possível, visto que, devido à valência única, dois componentes ativos não podem se conectar.

5.1.3 Ensaio de C/F/FAD para avaliar a remoção da matéria orgânica

As análises que envolveram a remoção de matéria orgânica foram avaliadas pelos parâmetros absorvância ao $\text{UV}_{254\text{nm}}$ e COD.

Na absorvância ao $\text{UV}_{254\text{nm}}$, o objetivo foi demonstrar a ocorrência de remoção de compostos aromáticos, que se situam neste comprimento de onda do espectro; já nas análises de COD, buscou-se verificar se houve redução deste parâmetro.

Assim como na avaliação do parâmetro cor, a remoção de compostos com absorvância ao UV_{254nm} não partiram de condições iniciais pré-determinadas, visto que o parâmetro de controle era a turbidez.

Na Tabela 4 são apresentados os valores pré e pós-tratamento dos parâmetros absorvância ao UV_{254nm} e COD, nas diferentes condições de turbidez e dosagens de coagulante empregados.

Tabela 4 - Características da água com turbidez de 10, 20 e 30 uT em função dos parâmetros absorvância ao UV_{254nm} e COD com diferentes dosagens de *M. oleífera*, antes e após C/F/FAD.

Condição da água	Dosagem do coagulante (mg L ⁻¹)	COD (mg L ⁻¹)			Absorvância ao UV _{254nm} (cm ⁻¹)		
		Inicial	Final	Acréscimo (%)	Inicial	Final	Redução (%)
P (10 uT)	10		7,1	29,8		0,051	-
P (10 uT)	20		7,5	35,7		0,047	7,8
P (10 uT)	30	5,5 (0,8)	7,8	41,4	0,051 (0,001)	0,047	7,8
P (10 uT)	40		7,9	42,9		0,043	15,7
P (10 uT)	50		8,6	55,7		0,040	21,6
P (20 uT)	10		8,2	26,0		0,048	14,3
P (20 uT)	20		8,4	29,4		0,048	14,3
P (20 uT)	30	6,5 (0,4)	8,8	35,4	0,056 (0,001)	0,047	17,3
P (20 uT)	40		9,0	37,9		0,044	21,4
P (20 uT)	50		9,5	45,8		0,043	23,2
P (30 uT)	10		9,2	35,7		0,059	15,4
P (30 uT)	20		9,3	37,0		0,049	23,1
P (30 uT)	30	6,8 (0,3)	9,7	43,2	0,064 (0,001)	0,046	27,9
P (30 uT)	40		10,1	48,0		0,046	27,9
P (30 uT)	50		10,5	54,1		0,043	32,3

Fonte: O autor, 2017.

Na Tabela 4 observa-se que os valores iniciais de absorvância ao UV_{254nm}, nas três condições de turbidez, situaram-se entre 0,051 e 0,064 cm⁻¹. De modo geral, houve redução de compostos aromáticos nas três diferentes águas, assim como em todas as dosagens de coagulante. Pode-se perceber, ainda, que as

melhores remoções ocorreram em água com maior concentração de compostos aromáticos ($0,064 \text{ cm}^{-1}$).

Camacho et al. (2017), ao trabalharem com água com 10 uT e $0,04 \text{ cm}^{-1}$ de absorvância ao $\text{UV}_{254\text{nm}}$, utilizando como coagulante *M. oleífera* (com extrato salino de NaCl 1M) na dosagem de 50 mg L^{-1} , atingiram remoções em torno de 20% - semelhante ao obtido neste estudo (21,6%, em condição inicial de $0,05 \text{ cm}^{-1}$) (Tabela 4). Vale ressaltar que são poucos os estudos que discutem remoção de compostos que absorvem ao $\text{UV}_{254\text{nm}}$ em concentrações tão baixas, utilizando *M. oleífera*, como discutido neste trabalho.

Em relação ao COD pode-se verificar, na Tabela 4, que não ocorreu redução em qualquer condição inicial de água de estudo. Também se observou que, quanto maior a dosagem do coagulante, maior o acréscimo de COD após C/F/FAD – assim como observado nos trabalhos de Poumaye (2012), Baptista et al. (2015) e Carvalho et al. (2016). Desse modo, recomenda-se a utilização de menor quantidade possível do coagulante, para que sejam mitigadas as probabilidades de ocorrência de aumento de THMs pós-tratamento.

5.1.4 Definição das melhores dosagens do coagulante *Moringa oleífera*

Na Tabela 5 são ilustrados os resultados obtidos nos testes utilizando o coagulante *M. oleífera*, em relação aos parâmetros turbidez, cor e matéria orgânica.

Tabela 5 - Melhores dosagens do coagulante *M. oleífera* para as águas de 10, 20 e 30 uT, em função da turbidez, cor, COD e abs. ao $\text{UV}_{254\text{nm}}$.

Condição da água (uT)	Melhor dosagem de coagulante (mg L^{-1})			
	Turbidez	Cor	COD	Abs. ao $\text{UV}_{254\text{nm}}$
10	10	20	10	50
20	20	40	10	50
30	20	40	10	50

Fonte: O autor, 2018.

É possível perceber na Tabela 5 que, para os parâmetros COD e abs. ao $\text{UV}_{254\text{nm}}$, os melhores resultados foram verificados nas dosagens extremas (10 e

50 mg L⁻¹, respectivamente). Ao analisar conjuntamente os resultados nestes dois parâmetros com aqueles obtidos para turbidez e cor, definiu-se como melhores dosagens de coagulante *M. oleifera* a serem associadas com o PAC, o disposto na Tabela 6.

Tabela 6 - Melhores dosagens de *M. oleifera* a serem associadas posteriormente ao coagulante PAC.

Condição da água (uT)	Dosagem de coagulante (mg L ⁻¹)
10	20
20	30
30	40

Fonte: O autor, 2018.

As melhores dosagens de coagulante *M. oleifera* definidas neste estudo são bastante semelhantes ao encontrado por Pritchard et al. (2010b), que detectaram, para água sintética de 20 e 30 uT, as melhores dosagens de 20 e 40 mg L⁻¹, respectivamente, assim como no estudo de Carvalho (2015), que em água sintética de 25 uT, verificou a melhor dosagem do coagulante em 25 mg L⁻¹.

Desse modo, na próxima seção será abordada a associação *M. oleifera* e PAC, nas águas com turbidez de 10, 20 e 30 uT, utilizando as dosagens de 20, 30 e 40 mg L⁻¹, respectivamente.

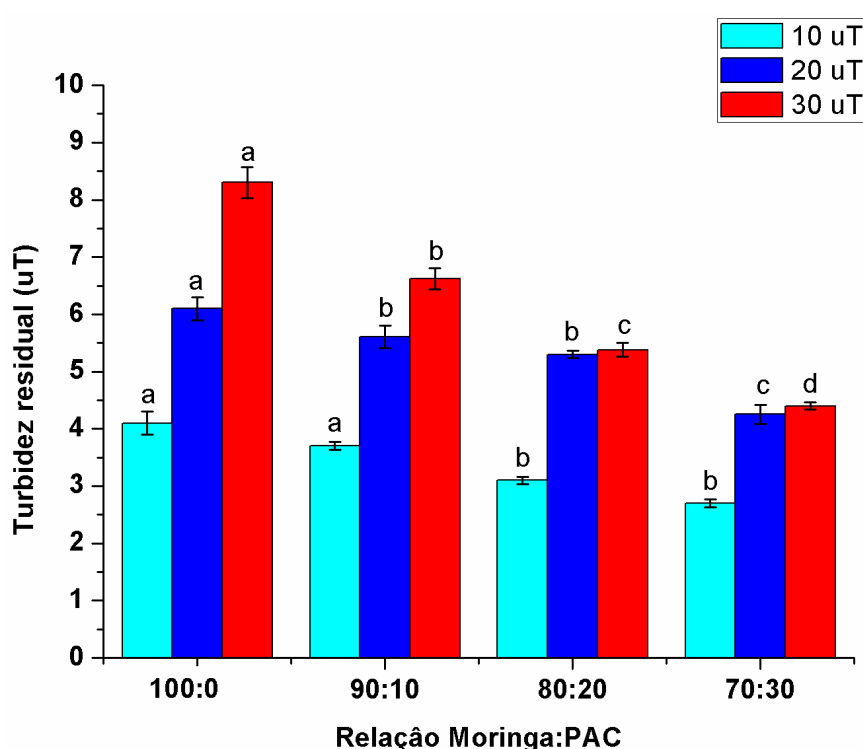
5.2 Associação dos coagulantes *M. oleifera* e policloreto de alumínio (PAC)

A associação dos coagulantes *M. oleifera* e PAC ocorreu em três proporções (*Moringa*:PAC - 90:10, 80:20 e 70:30), considerando cada uma das dosagens ótimas obtidas de acordo com a turbidez avaliada. Os estudos, assim como na etapa anterior, englobaram as três condições de turbidez de água (10, 20 e 30 uT). Também foram analisados, além de cor, turbidez, absorvância ao UV_{254nm} e COD, os parâmetros SUVA e os gráficos de contorno da MEE e espectro de fluorescência sincronizado.

5.2.1 Ensaios de C/F/FAD para avaliar a remoção da turbidez

A turbidez inicial e pós-tratamento, nas três condições de turbidez estudadas, em função da associação dos coagulantes *M. oleifera* e PAC, são ilustradas na Figura 10.

Figura 10 - Turbidez residual, nas diferentes combinações de *M. oleifera* e PAC, em água com turbidez de 10, 20 e 30 uT, nas dosagens de coagulante de 20, 30 e 40 mg L⁻¹, respectivamente.



Água 10 uT - Turbidez inicial: 11,2 uT ± 0,5.

Água 20 uT - Turbidez inicial: 20,8 uT ± 1,1.

Água 30 uT - Turbidez inicial: 30,2 uT ± 0,7.

Legenda: letras diferentes indicam diferença estatística (Teste Tukey, p<0,05).

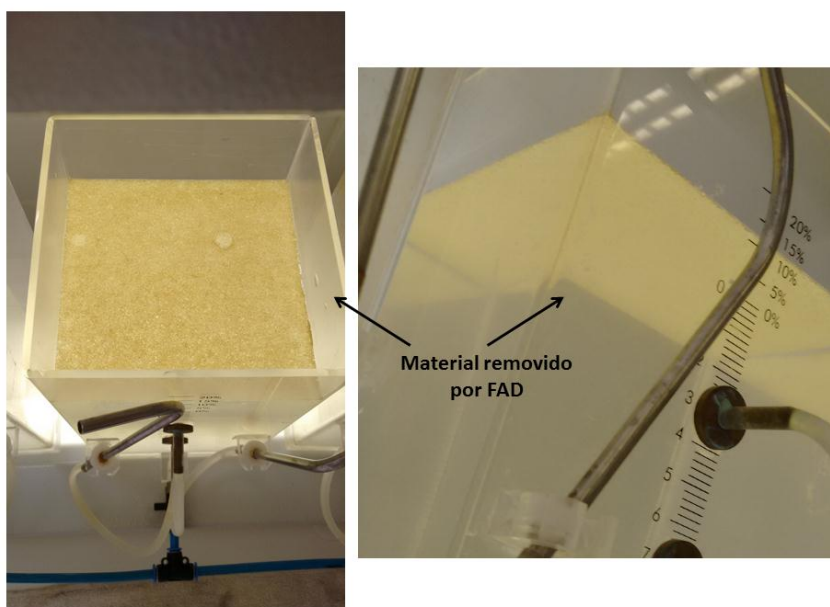
Fonte: O autor, 2018.

Na Figura 10 é possível observar que, nas três condições de água, a turbidez teve seu valor reduzido conforme se aumentava a proporção de PAC. Na condição de água a 10 uT, a melhor dosagem utilizada foi na proporção 80:20, visto que, estatisticamente, o valor residual é o mesmo obtido na proporção 70:30. Segundo a literatura, o uso do extrato de *M. oleifera* não é recomendado para águas de baixa turbidez (menores que 50 uT) – devido à menor remoção, se comparada com águas de alta turbidez (maiores do que 100 uT) (KWAAMBWA et al., 2010;

MORETI et al., 2013; NDABIGENGESERE; NARASIAH, 1998; OKUDA et al., 2001;). Neste estudo, em água com turbidez igual a 11,2 uT, o tratamento proposto reduziu satisfatoriamente a turbidez - seja quando utilizado somente *M. oleifera* (4,1 uT) ou esta associada ao PAC (proporção 70:30 – 2,7 uT).

Já nas águas com turbidez de 20 e 30 uT, os melhores resultados ocorreram na proporção dos coagulantes 70:30 (Figura 10). A respeito da influência do PAC, Jiang e Graham (1996) afirmam que o mecanismo de coagulação normalmente ocorre por neutralização de cargas – processo no qual a hidrólise do íon alumínio advém de modo mais lento, o que beneficia a interação de cargas entre o coagulante e as partículas. Assim, a adição de PAC possivelmente ocasionou maior interação deste tanto com a rede formada pela *M. oleifera* quanto com as demais substâncias presentes na água (CARVALHO, 2015). Na Figura 11 é possível observar a remoção do material particulado, após C/F/FAD, ao utilizar os coagulantes associados.

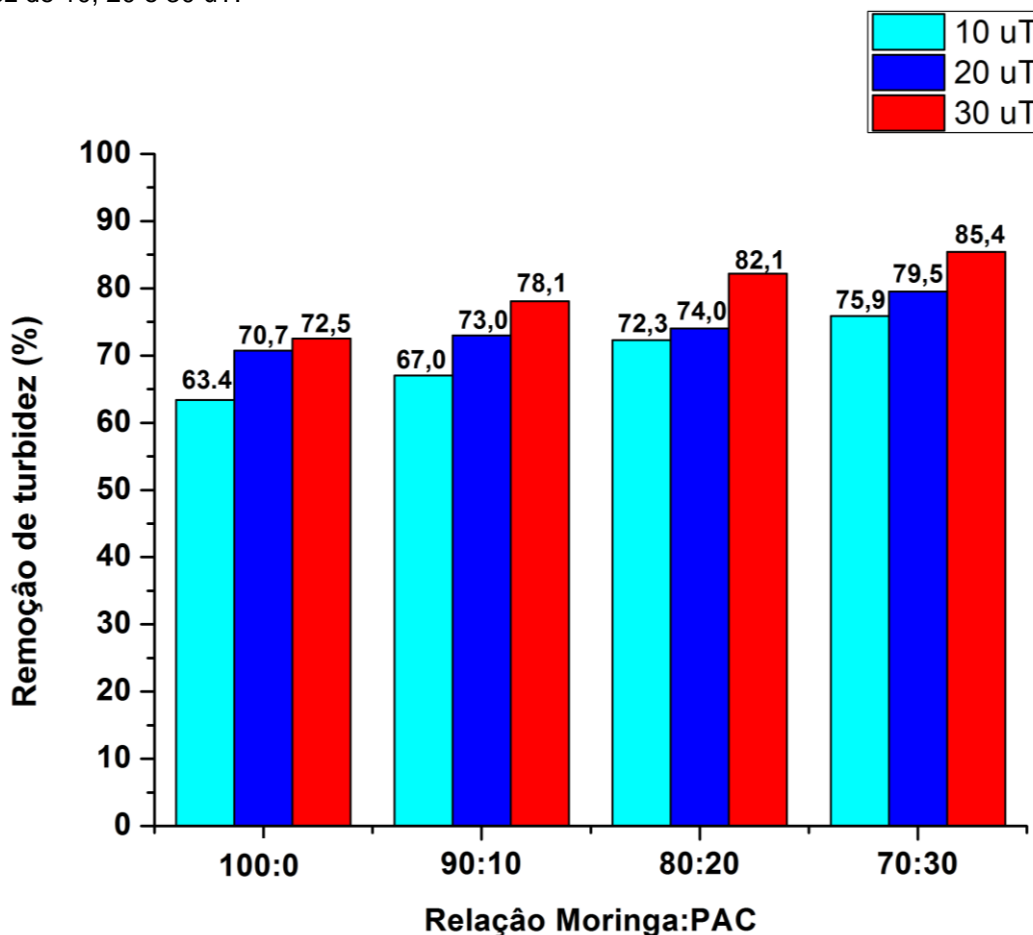
Figura 11 - Fotografia da água no flutuador após C/F/FAD, ao utilizar os coagulantes associados *M. oleifera* e PAC.



Fonte: O autor, 2018.

A remoção de turbidez, em termos percentuais, é ilustrada na Figura 12. Nas águas com turbidez de 10, 20 e 30 uT, na proporção 70:30, em termos de porcentagem de remoção, os valores foram 75,9%, 79,5% e 85,4%, respectivamente).

Figura 12 - Remoção de turbidez, nas diferentes combinações de *M. oleifera* e PAC, em água com turbidez de 10, 20 e 30 uT.



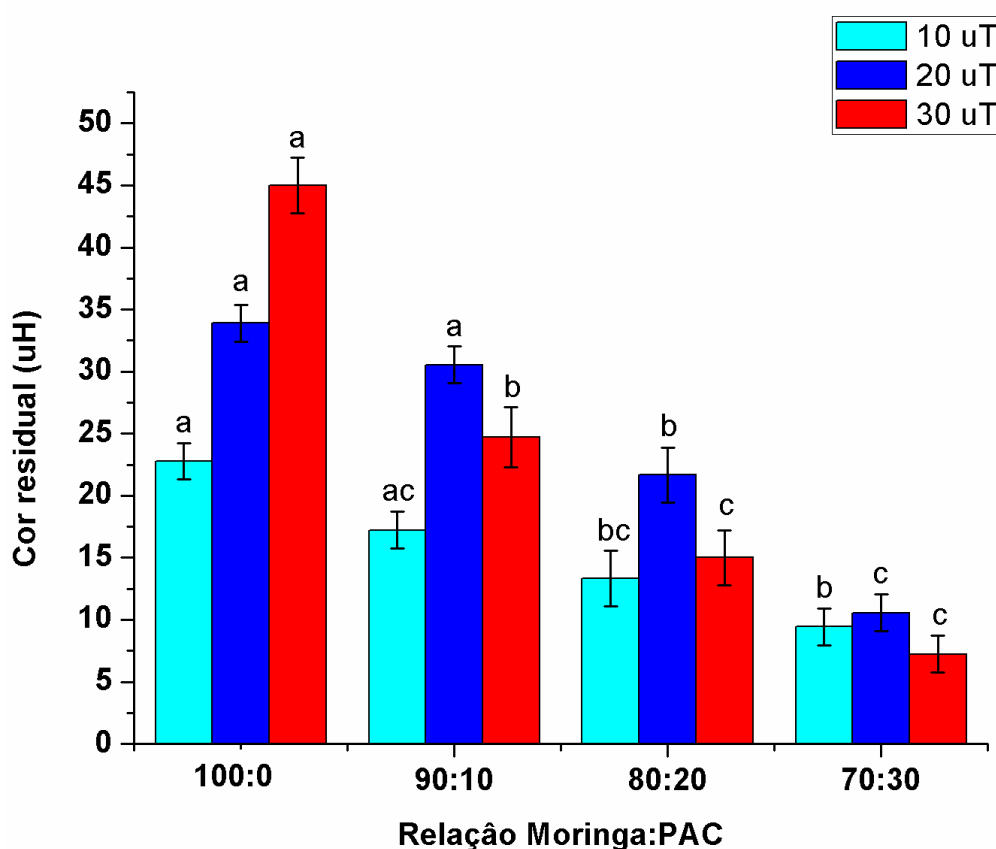
Fonte: O autor, 2018.

A respeito dos resultados encontrados, Carvalho (2015), ao trabalhar em água sintética contendo ácido húmico e cianobactérias, na turbidez de 25 uT, obteve remoção de 71% ao utilizar proporção *Moringa*:PAC de 70:30. Nesta pesquisa, observa-se que, seja em água com 20 ou 30 uT, a utilização dos coagulantes associados proporcionou maiores remoções (79,5% e 85,4%, respectivamente) nesta mesma proporção, considerando mesma dosagem de coagulante - o que pode estar relacionado a melhor ação do coagulante em água do manancial, do que em água sintética.

5.2.2 Ensaio de C/F/FAD para avaliar a remoção da cor

A cor inicial e pós-tratamento, nas três condições de turbidez estudadas, em função da associação dos coagulantes *M. oleifera* e PAC, são ilustradas na Figura 13.

Figura 13 - Cor residual, nas diferentes combinações de *M. oleifera* e PAC, em água com turbidez de 10, 20 e 30 uT.



Água 10 uT - Cor inicial: 58,3 uH \pm 2,2.

Água 20 uT - Cor inicial: 98,3 uH \pm 4,4.

Água 30 uT - Cor inicial: 161,7 uH \pm 4,5.

Legenda: letras diferentes indicam diferença estatística (Teste Tukey, p<0,05).

Fonte: O autor, 2018.

Ao analisar a Figura 13, observa-se que os menores valores de cor, pós-tratamento, foram detectados quando utilizadas as maiores proporções de PAC, nas três condições de turbidez estudadas.

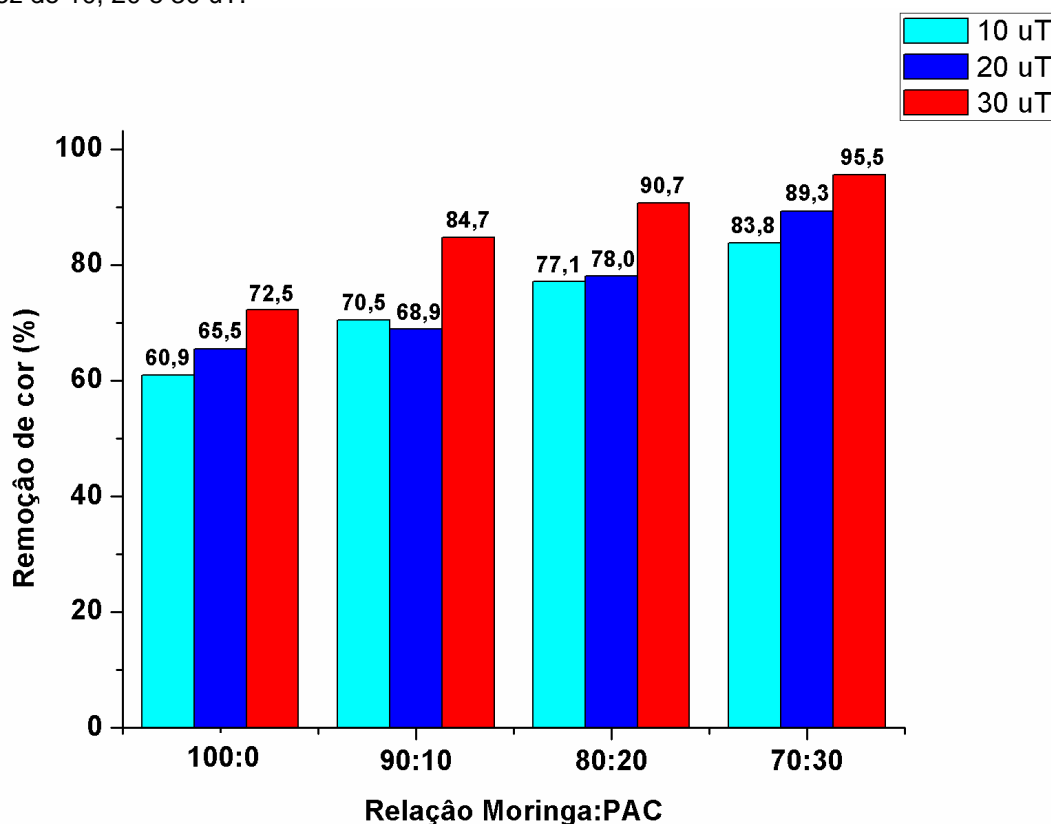
Ainda sobre a Figura 13, é possível verificar que os menores valores residuais, nas três condições de água, foram encontradas na proporção 70:30. Os

baixos valores residuais de cor obtidos podem ser explicados pela presença de partículas menores na água, que decantam mais lentamente do que partículas maiores (ZHAO et al., 2012). Neste caso, a aplicação do processo de FAD é amplamente favorável, tanto para remoção quanto pelo menor tempo despendido para o tratamento. Além deste aspecto, Ribeiro (2010) cita que o pó das sementes de *M. oleifera* possui a característica de não decantar rapidamente - o que corrobora para a utilização da FAD em estudos que empreguem o coagulante *M. oleifera*, em baixas dosagens.

Na condição de água 10 uT, recomenda-se como melhor dosagem a proporção 80:20, visto que esta, estatisticamente, é igual a de 70:30; na água 20 uT, o teste de Tukey demonstrou que a proporção ideal de coagulante é de 70:30, enquanto que, em 30 uT, a melhor proporção indicada é a de 80:20 (Figura 13).

Na Figura 14 são ilustrados os valores percentuais removidos de cor, nas três condições de água:

Figura 14 - Remoção de cor, nas diferentes combinações de *Moringa oleifera* e PAC, em água com turbidez de 10, 20 e 30 uT.



Fonte: O autor, 2018.

A respeito das remoções de cor, é possível observar que na condição de água 30 uT, a remoção foi de 95,5% - semelhante ao obtido por Valverde (2014), que obteve remoção de 96% ao utilizar os coagulantes associados *M. oleifera* e PAC nas mesmas proporções (70:30), em água de rio; no entanto, a cor inicial era maior (aprox. 380 uH), assim como a dosagem de coagulante (50 mg L^{-1}).

De modo geral, pode-se verificar que a remoção de cor seguiu a mesma tendência da remoção obtida no parâmetro turbidez. Tal fato pode ser explicado devido a estes dois parâmetros condizerem com a concentração de sólidos presentes na água, visto que a cor está relacionada, em especial, à presença de matéria orgânica dissolvida – além das partículas suspensas, enquanto a turbidez relaciona-se à presença de material particulado suspenso na água (DI BERNARDO; PÁDUA, 2000).

5.2.3 Ensaio de C/F/FAD para avaliar a remoção da matéria orgânica

Nesta etapa, além de serem avaliados os parâmetros absorvância ao $UV_{254\text{nm}}$ e COD, também foram analisados SUVA, fluorescência, pH, alumínio dissolvido e condutividade elétrica.

Por intermédio dos gráficos plotados a partir das matrizes de excitação-emissão (MEE) emitidos pela fluorescência, avaliou-se o teor da matéria orgânica removida. Já com os valores de SUVA, o intuito foi estabelecer alguma relação de remoção, em função da composição da matéria orgânica inicial.

Na Tabela 7 são apresentados os valores pré e pós-tratamento dos parâmetros SUVA, COD, Absorvância ao $UV_{254\text{nm}}$, alumínio dissolvido, pH e condutividade elétrica, nas diferentes condições de turbidez e dosagens de coagulante empregados.

É possível verificar na Tabela 7 que, quando utilizado o coagulante natural isolado, bem como quando associado ao PAC, não foram detectadas variações no pH da água, conforme também já demonstrado por vários autores (AWAD; LI, 2013; CAMACHO et al., 2017; MORENO et al., 2016; NDABIGENGESERE; NARASIAH, 1998; OLIVEIRA et al., 2011; PATERNIANI et al., 2009).

Tabela 7 - Características da água com turbidez de 10, 20 e 30 uT em função dos parâmetros SUVA, COD, absorvância ao UV_{254nm}, alumínio, pH e condutividade elétrica com diferentes dosagens dos coagulantes *M. oleifera* e PAC, antes e após C/F/FAD.

Condição da água	Relação <i>Moringa</i> : PAC	SUVA	COD (mg L ⁻¹)			Absorvância ao UV _{254nm} (cm ⁻¹)			Alumínio (mg L ⁻¹)	pH	Cond. (µS)	
			Inicial	Final	Acrésc. (%)	Inicial	Final	Redução (%)				
10 uT	Água			-	-		-	-	-	7,7	0,17	
	100:0			12,1	21,0		0,044	17,0	-	7,6	0,55	
	90:10	0,53	10,0	11,6	16,0		0,053	0,040	24,5	0,03	7,6	0,49
	80:20			11,5	15,0		0,037	30,2	0,04	7,6	0,44	
	70:30			11,0	10,0		0,035	34,0	0,04	7,7	0,40	
20 uT	Água			-	-		-	-	-	7,5	0,17	
	100:0			16,2	42,1		0,050	23,1	-	7,5	0,65	
	90:10	0,57	11,4	16,0	40,4		0,065	0,048	26,2	0,04	7,4	0,62
	80:20			12,3	7,9		0,043	33,8	0,04	7,5	0,57	
	70:30			12,1	6,1		0,040	35,5	0,05	7,5	0,53	
30 uT	Água			-	-		-	-	-	7,6	0,17	
	100:0			18,8	51,6		0,049	31,9	0,04	7,5	0,78	
	90:10	0,58	12,4	18,9	52,4		0,072	0,046	36,1	0,05	7,6	0,75
	80:20			16,7	34,7		0,043	40,3	0,05	7,5	0,70	
	70:30			16,5	33,1		0,041	43,1	0,06	7,5	0,64	

Fonte: O autor, 2018.

De acordo com Moraes (2004) e Amaral et al. (2006), a condutividade do meio não é alterada significativamente ao utilizar o coagulante *M. oleifera*. Tal característica não foi observada neste estudo (Tabela 7), visto que ocorreram variações na condutividade, após C/F/FAD, assim como constatado por Oliveira et al. (2011) e Camacho et al. (2017). Também foi possível perceber que o aumento da condutividade foi proporcional às maiores dosagens de *M. oleifera* utilizadas.

O aumento da condutividade, quando empregadas maiores dosagens do coagulante natural, pode ser explicado, possivelmente, pela maior concentração de proteínas presentes na solução salina de *M. oleifera*, as quais aumentam os valores de condutividade elétrica, devido à adição de espécies iônicas à solução pelo extrato das sementes. Sobre esta tendência, Batista et al. (2013) demonstraram

em seu estudo que elevadas dosagens de *M. oleifera* incorporaram vários nutrientes presentes na sua composição na água, o que acarretou em aumento considerável da condutividade.

Também, verificou-se na Tabela 7 que o valor de SUVA, nas três condições de água, foi praticamente o mesmo. A respeito deste parâmetro, Edzwald e Tobiason (1999) caracterizam água com SUVA menor do que 2 (dois) como sendo constituídas principalmente por substâncias não húmicas, de baixa hidrofobicidade e massa molar; os autores afirmam ainda que, na coagulação, é esperada baixa remoção de COD utilizando sulfato de alumínio e sais férricos.

Nesta pesquisa, o aumento de COD na água ocorreu quando empregada maiores dosagens de *M. oleifera*, devido à matéria orgânica advinda da semente, a qual não atua como coagulante, enquanto que, quando utilizada maiores dosagens de PAC, o aumento de COD foi menor – assim como observado no estudo de Awad e Li (2013), que também analisaram o emprego destes coagulantes associados em água de rio.

O acréscimo de COD, nas águas com 10 e 30 uT, foi menor do que o detectado por Camacho et al. (2017), em mesma condição de turbidez, ao utilizarem como coagulante somente *M. oleifera*. No entanto, a dosagem de coagulante utilizada por estes autores foi de 50 mg L⁻¹ e a concentração de COD inicial da água era inferior (2 a 4 mg L⁻¹).

Vale destacar que a inserção do PAC no tratamento, independente da dosagem aplicada, esteve abaixo do valor máximo permitido para alumínio dissolvido, que é de 0,2 mg L⁻¹, definido pela Portaria 2914 (Brasil, 2011), conforme ilustrado na Tabela 7.

A respeito dos compostos com absorção ao UV_{254nm}, foi possível verificar na Tabela 7 que as águas, nas três condições analisadas, apresentavam valor inicial baixos (0,053 a 0,072 cm⁻¹). As maiores remoções ocorreram na proporção de coagulantes 70:30 (*Moringa*:PAC) sendo que, na água com 30 uT, obteve-se a maior remoção (43,1%) deste estudo.

Na Tabela 8, os resultados obtidos nesta pesquisa, em relação aos parâmetros SUVA e abs. ao UV_{254nm}, são comparados com os resultados de Valverde (2014), que também analisou a associação dos coagulantes *M. oleifera* e PAC em água de rio.

Tabela 8 - Parâmetros SUVA e Abs. ao UV_{254nm} dos estudos realizados por Valverde (2014) e os obtidos no presente estudo (2018).

Autor	SUVA	Abs. ao UV _{254nm}	
		Inicial (cm ⁻¹)	% remoção
Valverde (2014)	8,1	0,282	85,0
Presente estudo*	0,6	0,072	43,1

Legenda: * Água com turbidez 30 uT.
Fonte: o autor, 2018.

Ao analisar a Tabela 8 é possível verificar que a remoção de compostos com absorvância ao UV_{254nm} no estudo de Valverde (2014) foi o dobro do verificado nesta pesquisa. Esta característica pode estar relacionada à maior quantidade destes compostos na água. No trabalho de Valverde (2014), o valor inicial dos compostos com absorvância ao UV_{254nm} (0,282 cm⁻¹) é quatro vezes maior do que o apresentado nesta pesquisa (0,072 cm⁻¹). De acordo com Edzwald e Tobiason (1999), a melhor ação do coagulante ocorre em água com maior quantidade de SHs, hidrofóbicas e de alta massa molar – características de águas com elevada concentração de compostos com absorvância ao UV_{254nm}.

A melhor ação do coagulante em águas com maior concentração de compostos com absorvância ao UV_{254nm} também foi verificada no estudo de Abe et al. (2014) que, ao utilizarem somente o coagulante de *M. oleifera*, obtiveram remoção de 67,2% destes compostos em água de manancial, com valor inicial de absorvância ao UV_{254nm} de 0,180 cm⁻¹. A remoção obtida pelos autores foi maior do que a obtida nesta pesquisa - 31,9%, em água com 0,072 cm⁻¹, na mesma dosagem de coagulante.

Ainda considerando a Tabela 8, a maior remoção dos compostos obtida por Valverde (2014) também pode ser explicada pelo alto valor de SUVA (8,1). Segundo Edzwald e Tobiason (1999), águas com SUVA maior do que 4 (quatro) são compostas principalmente de substâncias húmicas, com alta hidrofobicidade e massa molar; já em águas com SUVA menor do que 2 (dois), a composição da água é caracterizada em função, principalmente, de substâncias não húmicas, de baixa hidrofobicidade e massa molar.

Paiva e Coelho (2011) apontaram que a lectina, principal proteína relacionada à atividade coagulante da *M. oleifera*, apresenta peculiaridades específicas que a fazem se unir ao ácido húmico, de maneira preferencial em

relação a outros compostos – o que sugere maiores remoções em águas que apresentem tais características.

Santos et al. (2013), ao analisarem o comportamento do coagulante *M. oleifera* na remoção de ácido húmico, verificaram que a aplicação de 1 mg L⁻¹ de extrato de *M. oleifera* reduziu a concentração de COD em amostras de água contendo 9 mg L⁻¹ de ácido húmico. Tal fato pode estar relacionado à elevada concentração de substâncias húmicas na água, o que possibilita, provavelmente, melhor ação do coagulante.

Com os gráficos de contorno da MEE foi possível identificar a natureza da matéria orgânica removida, após a C/F/FAD. Na sequência serão analisados o comportamento do coagulante *M. oleifera* puro e associado ao PAC, em cada condição de turbidez avaliada (10, 20 e 30 uT), nas faixas de 200 a 600 nm, tanto para excitação, quanto para emissão.

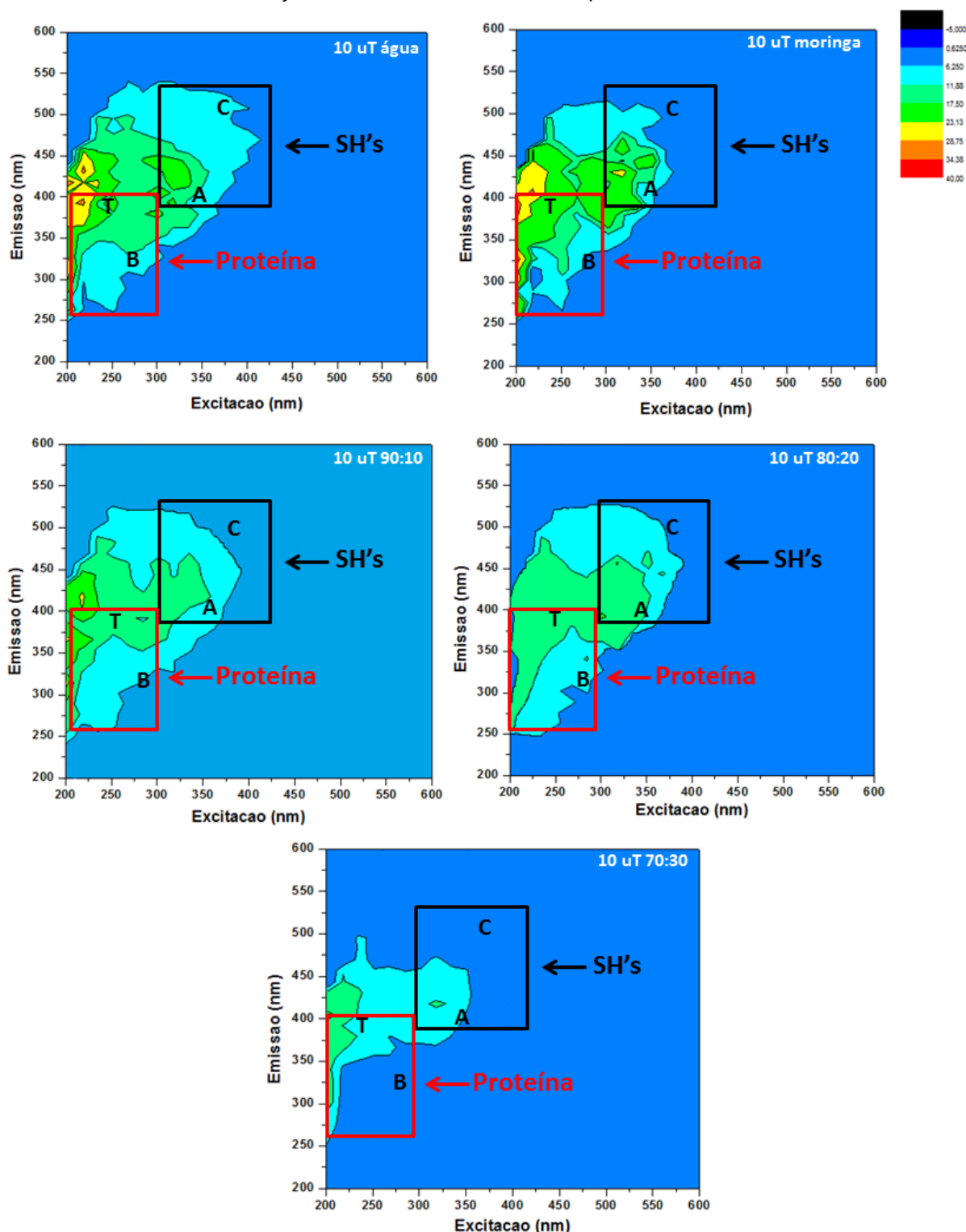
Na Figura 15 são ilustrados os espectros de contorno das Matrizes de Excitação e Emissão (MEE), em água com 10 uT, antes e após o tratamento.

Ao observar o gráfico de MEE (Figura 15), é possível definir a água com turbidez inicial de 10 uT como composta, predominantemente, por compostos lábeis, com estruturas menos complexas, visto que há maior intensidade nas bandas próximas a região T (Tryptofano - proteína).

Também é possível perceber na Figura 15 que em todas as dosagens de coagulante aplicadas houve remoção de compostos na região T. Quando utilizado somente *M. oleifera*, ocorreu aumento de intensidade de fluorescência nas regiões A (Exc/Emi, 300/400) e B (Exc/Emi, 210/325). Baptista et al. (2017) verificaram que as frações de proteína de *M. oleifera* que não apresentam potencial de coagulação/floculação são a glutelina, prolamina e proteínas insolúveis – o que sugere que estes compostos situam-se na faixa de Exc/Emi mencionada anteriormente.

Ao utilizar os coagulantes associados, verificou-se na Figura 15 que, quando utilizado maiores dosagens de PAC, houve redução gradual da intensidade de fluorescência - principalmente na região A (Exc/Emi, 350/425). Em relação à água inicial, percebeu-se que, quando empregado os coagulantes na proporção 70:30, houve redução da intensidade de fluorescência nas quatro regiões avaliadas (B, T, A e C).

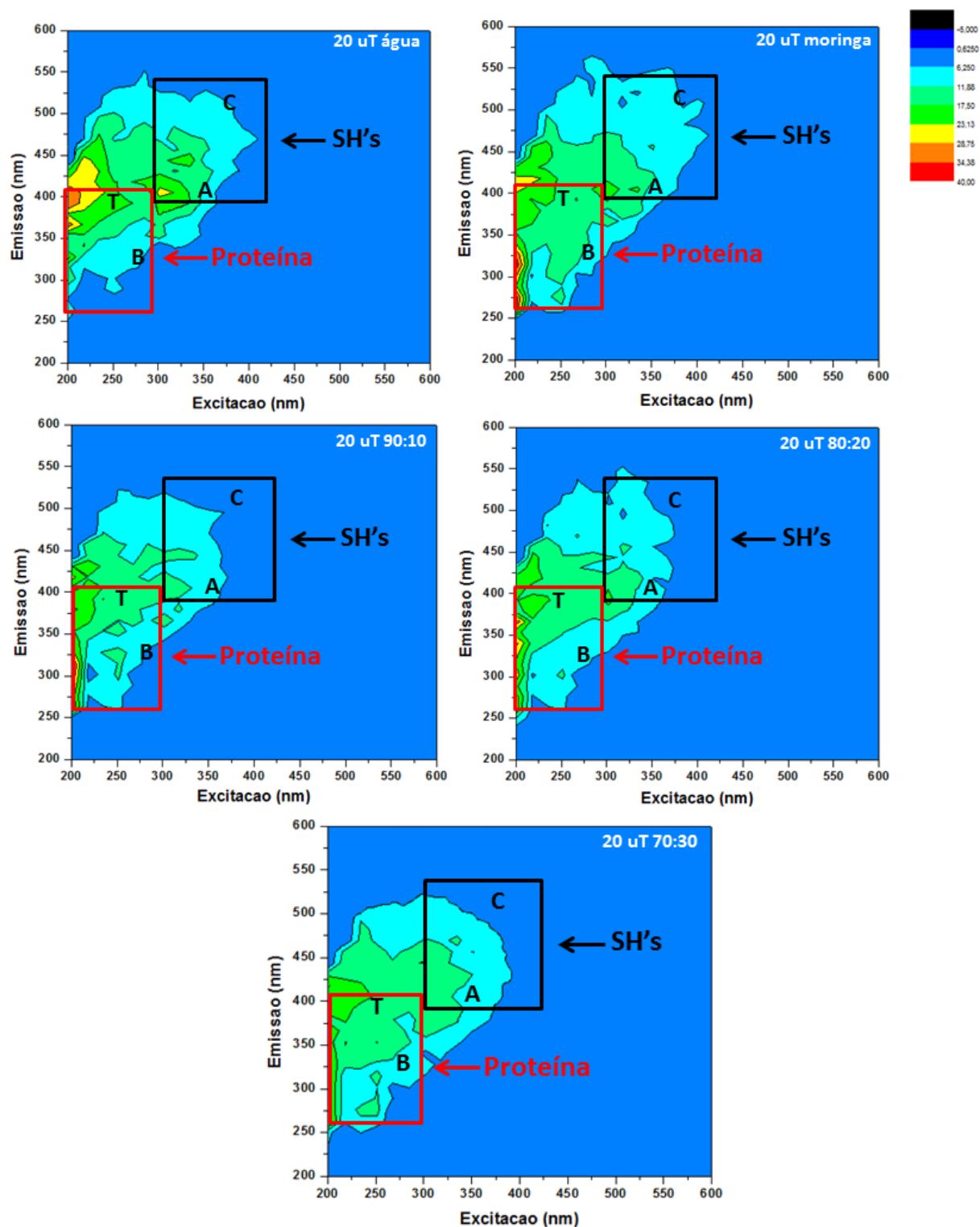
Figura 15 - Gráfico de contorno da MEE da água com turbidez de 10 uT, utilizando o coagulante *M. oleifera*, bem como a associação deste com o PAC, antes e após C/F/FAD.



Legenda: B: Tirosina (proteína) / T: Triptofano (proteína) / A: ácido fúlvico / C: ácido húmico.
 Fonte: O autor, 2018.

Na Figura 16 são ilustrados os espectros de contorno das Matrizes de Excitação e Emissão (MEE), em água com 20 uT, antes e após o tratamento.

Figura 16 - Gráfico de contorno da MEE da água com turbidez de 20 uT, utilizando o coagulante *M. oleifera*, bem como a associação deste com o PAC, antes e após C/F/FAD.



Legenda: B: Tirosina (proteína) / T: Triptofano (proteína) / A: ácido fúlvico / C: ácido húmico.
 Fonte: O autor, 2018.

A composição da água a 20 uT (Figura 16) é basicamente a mesma daquela observada na água a 10 uT (Figura 15): predomínio de substâncias menos complexas, com baixa hidrofobicidade (maior pico de intensidade na região T – Triptofano/proteína).

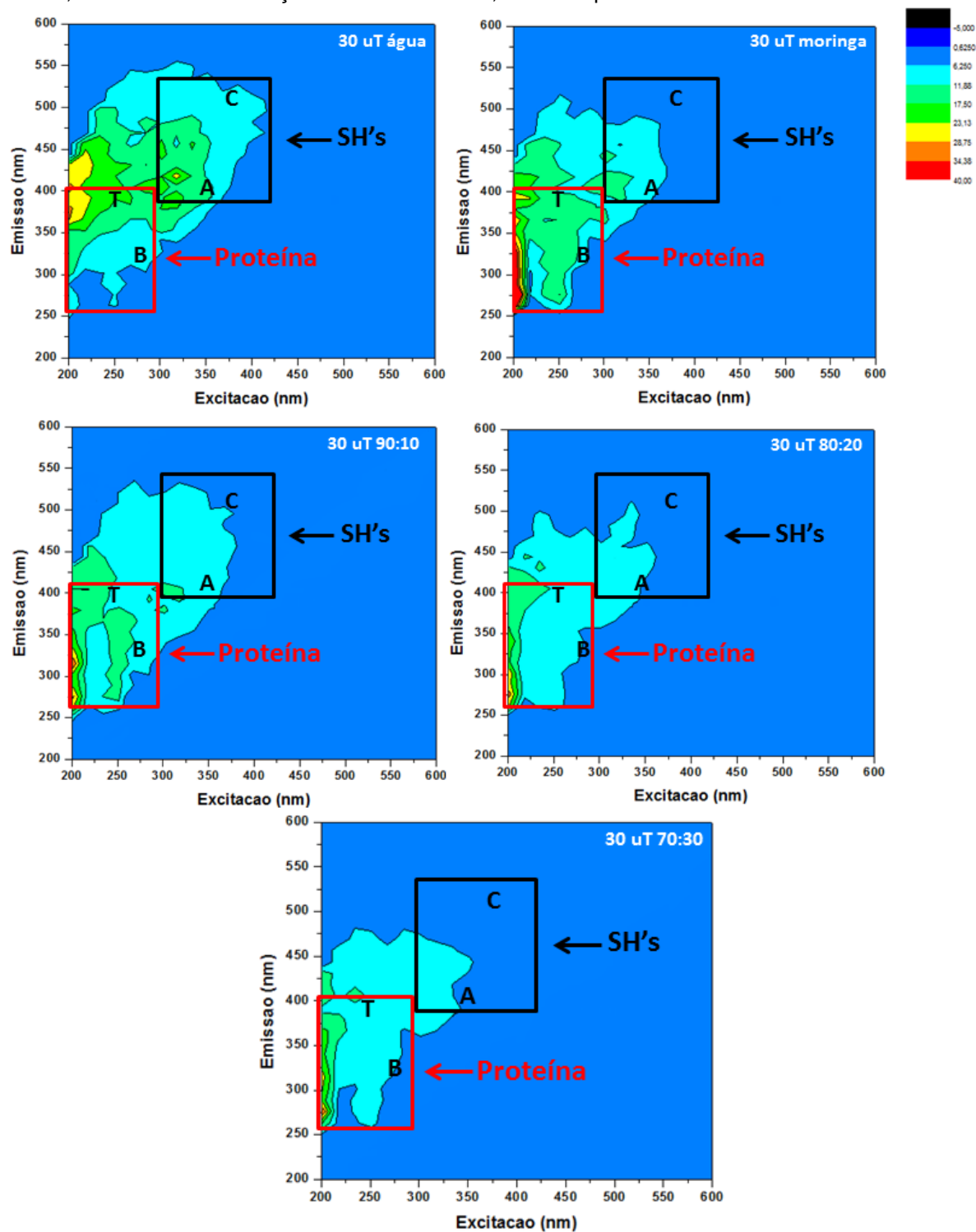
Nesta condição de água (20 uT), foi possível observar na Figura 16 que, ao utilizar somente o coagulante *M. oleifera*, houve redução da intensidade de fluorescência nas regiões T (Exc/Emi, 225/400) e A (Exc/Emi, 300/400) - diferente do ocorrido na condição de água 10 uT (Figura 15). Em contrapartida, houve aumento da intensidade na região B (Exc/Emi, 210/325), inclusive se comparada com a aplicação de *M. oleifera* na condição de água 10 uT (Figura 15). Tal fato pode estar relacionado à maior quantidade de coagulante utilizada em água 20 uT, o que ocasionou quantidade ainda maior de proteínas, oriundas do coagulante, na água – o que também foi verificado no maior acréscimo de COD (Tabela 6).

Os espectros de contorno das Matrizes de Excitação e Emissão (MEE), em água a 30 uT, antes e após o tratamento, são demonstrados na Figura 17.

O aumento da turbidez, em relação às águas analisadas anteriormente, não acarretou mudanças na matéria orgânica presente na água 30 uT, sendo esta também caracterizada por substâncias não húmicas, de baixa hidrofobicidade e massa molar - devido a maior intensidade de fluorescência na região T (Exc/Emi, 225/400).

A maior quantidade de coagulante empregada ocasionou nítida banda de Exc/Emi - 210/275 após o tratamento, especialmente quando utilizado apenas *M. oleifera* como coagulante (Figura 17). Ao observar a condição em que foi empregado apenas o coagulante natural, verificou-se que houve redução de intensidade nas regiões A (Exc/Emi, 350/425) e C (Exc/Emi, 375/500), o que pode estar relacionado à ação preferencial das proteínas na remoção de ácido húmico, em relação a outros compostos, conforme descrito por Paiva e Coelho (2011).

Figura 17 - Gráfico de contorno da MEE da água com turbidez de 30 uT, utilizando o coagulante *M. oleifera*, bem como a associação deste com o PAC, antes e após C/F/FAD.

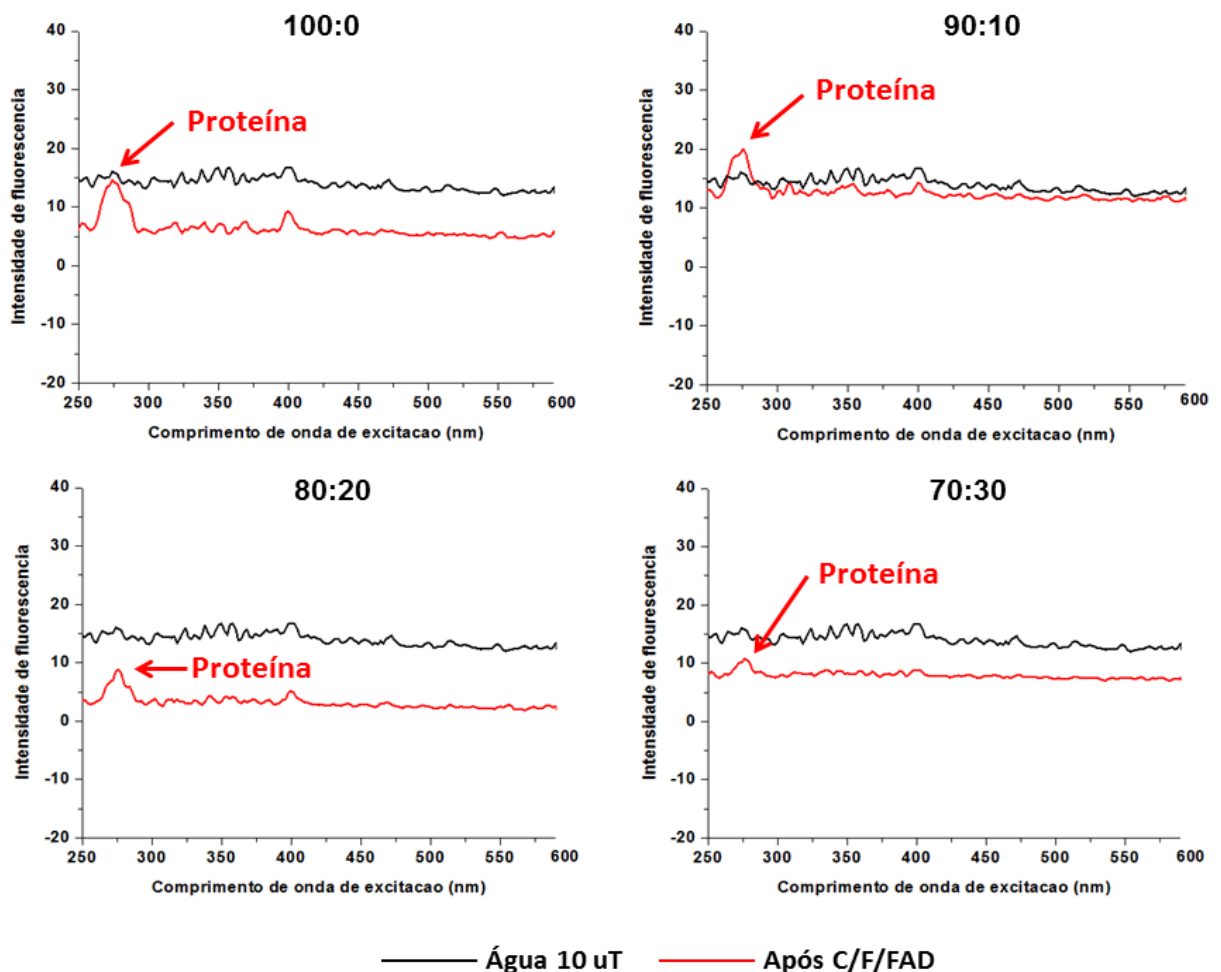


Legenda: B: Tirosina (proteína) / T: Triptofano (proteína) / A: ácido fúlvico / C: ácido húmico.
 Fonte: O autor, 2018.

O uso associado dos coagulantes, nesta condição de água (30 uT), gerou reduções de intensidade de fluorescência nas regiões T (Exc/Emi, 250/400 nm), A (Exc/Emi, 350/400 nm) e C (Exc/Emi, 375/525), sendo que tais reduções eram proporcionalmente maiores à medida que se aumentava a quantidade de PAC (Figura 17). Também foi possível verificar a partir da Figura 17 que, quanto maior a dosagem de PAC, menor era a intensidade de fluorescência na região B – especificamente na faixa de Exc/Emi – 210/325, devido, possivelmente, a menor quantidade de *M. oleifera* utilizada.

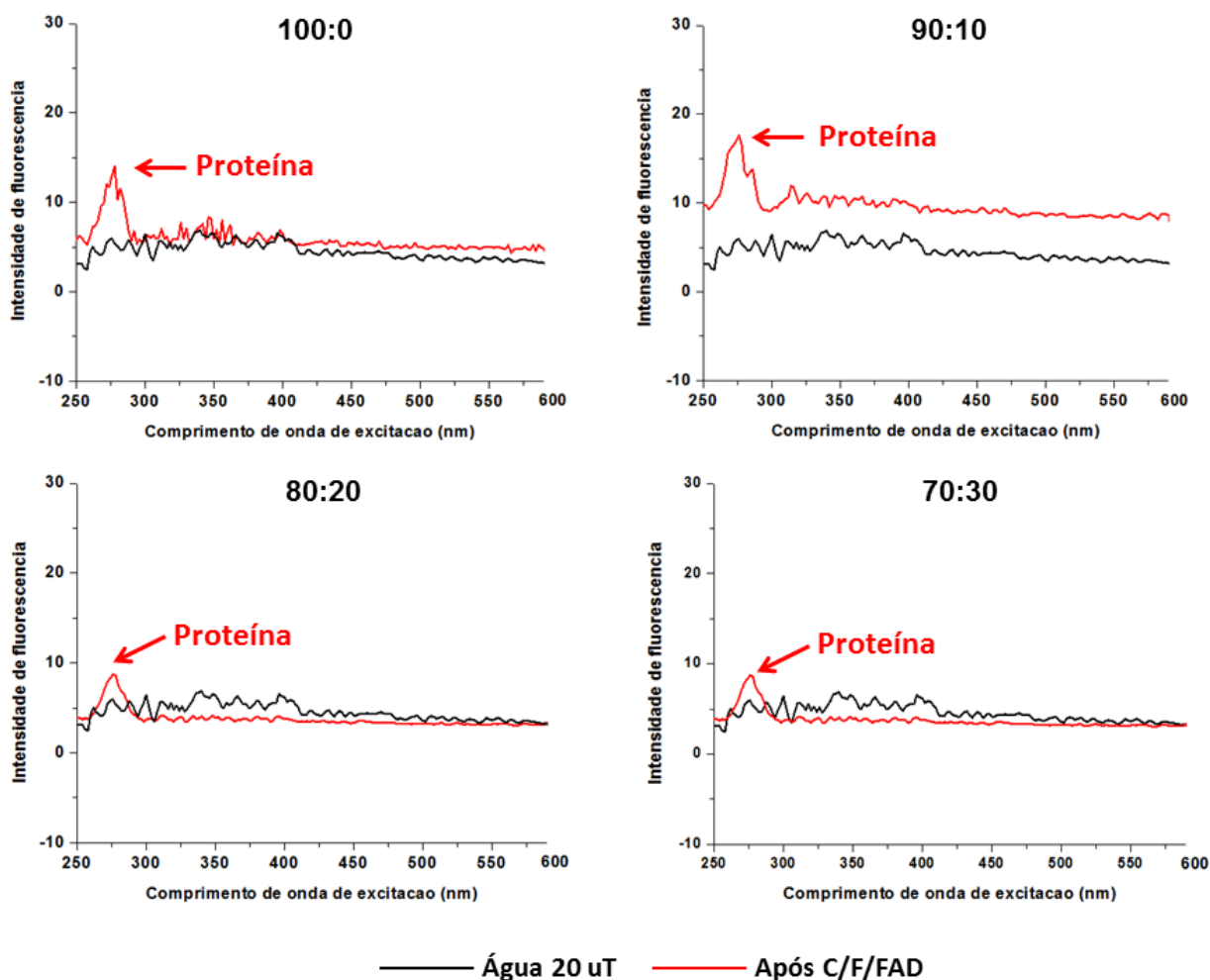
Assim como nos gráficos de contorno da MEE, o espectro de fluorescência sincronizado (Figuras 18, 19 e 20) permite a visualização dos compostos presentes na água, antes e após tratamento, entre o espectro de 250 e 600 nm.

Figura 18 - Espectro de fluorescência sincronizado para água com turbidez de 10 uT, utilizando o coagulante *M. oleifera* e associação desta com o PAC, antes e após C/F/FAD.



Fonte: O autor, 2018.

Figura 19 - Espectro de fluorescência sincronizado para água com turbidez de 20 uT, utilizando o coagulante *M. oleifera* e associação desta com o PAC, antes e após C/F/FAD.



Fonte: O autor, 2018.

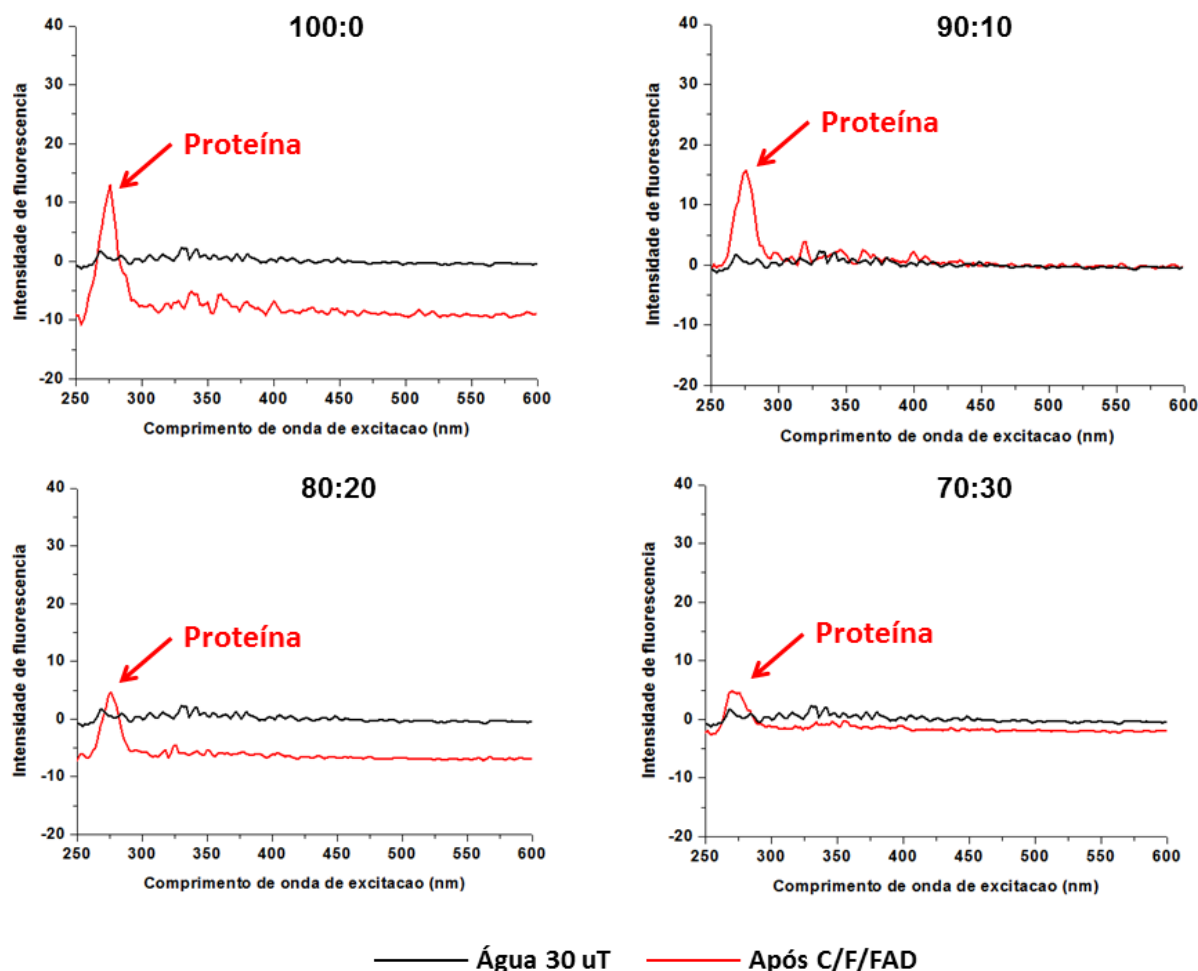
Acerca da característica da água de estudo, nas três condições de turbidez (10, 20 e 30 uT), é possível verificar, por intermédio do espectro de fluorescência sincronizado (Figuras 18, 19 e 20), que a água inicial apresentava caráter uniforme, no que tange a maior ou menor predominância de algum elemento, visto que não há pico sobressalente, como pode ser observado na água pós tratamento.

Após o tratamento, verificou-se que a intensidade do pico era maior em função do aumento da quantidade de *M. oleifera* empregada. Outro aspecto constatado diz respeito à exatidão do pico na banda de 275 nm, presente após a C/F/FAD. De acordo com Edzwald e Tobiason (1999), compostos situados entre a faixa de excitação de 270-280 correspondem à Tirosina (proteína), presente na região B. Tal afirmação sugere que as proteínas da *M. oleifera* que não participam

da coagulação e, conseqüentemente, aumentam a carga orgânica na água, situam-se nesta banda.

Também foi possível observar com o espectro de fluorescência sincronizado que a água do manancial não apresentava composição predominante de substâncias húmicas - estruturas aromáticas, de alta hidrofobicidade e massa molar. De acordo com Coble (1996), Spencer et al. (2007) e Baghoth et al. (2009), tais compostos apresentam picos de excitação a partir de 310 nm, o que não foi verificado, devido à ausência de bandas nessa região (Figuras 18, 19 e 20), se comparado aos picos observados na água pós tratamento.

Figura 20 - Espectro de fluorescência sincronizado para água com turbidez de 30 uT, utilizando o coagulante *M. oleifera* e associação desta com o PAC, antes e após C/F/FAD.

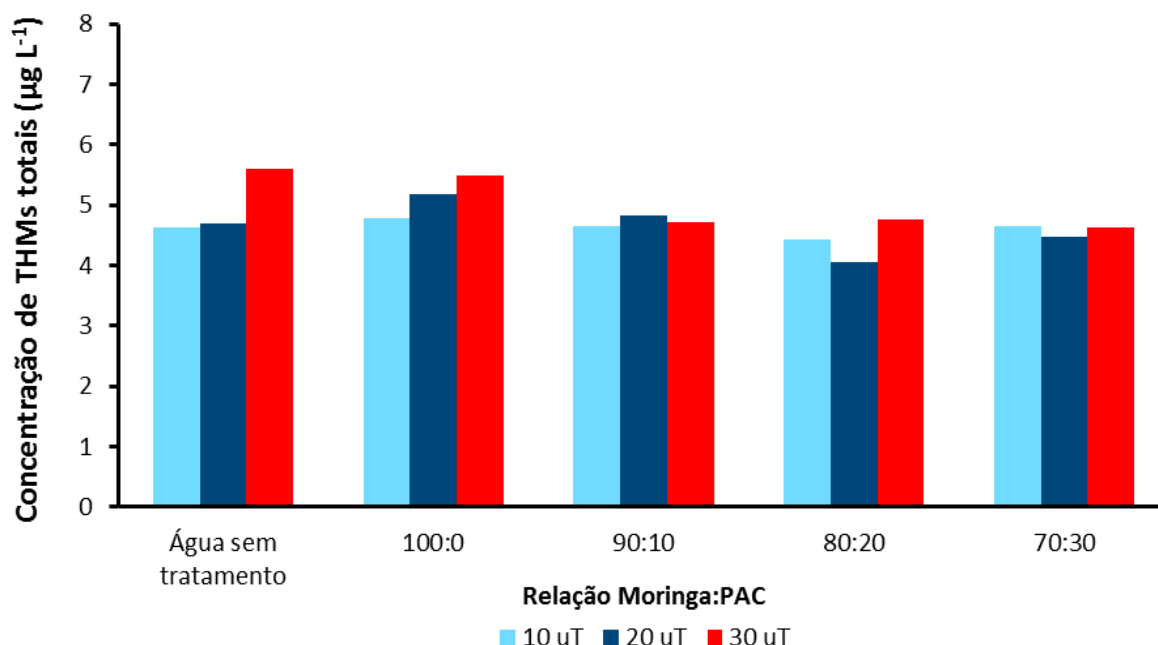


Fonte: O autor, 2018.

5.3 Ensaio de C/F/FAD para avaliar a formação de Trihalometanos

A fim de verificar a influência dos coagulantes na formação dos THMs, foram realizadas análises ao utilizar o coagulante *M. oleífera* puro e associado ao PAC. Na Figura 21 são demonstradas as concentrações de THMs na água bruta e após o processo C/F/FAD.

Figura 21 - Concentração de THMs totais, nas três condições de água inicial (10, 20 e 30 uT) e após C/F/FAD, utilizando os coagulantes *M. oleífera* e PAC.



Fonte: O autor, 2018.

As três diferentes águas analisadas (10, 20 e 30 uT) apresentaram concentração de THMs próximas – 4,5 a 5,5 (Figura 21). Ainda, foi possível verificar que na água de estudo, a concentração de THMs foi maior, de acordo com a maior turbidez da água. Todas as concentrações de THMs situaram-se abaixo do limite definido pela Portaria 2914, que é de 100 µg L⁻¹ (BRASIL, 2011).

Na condição de água com 10 uT, percebeu-se pequeno aumento de THMs quando inserido somente o coagulante *M. oleífera* (Figura 21), provavelmente devido à baixa dosagem de coagulante empregada (20 mg L⁻¹). Nas associações *Moringa*:PAC, a concentração destes compostos foi semelhante, possivelmente, devido a quantidade bastante reduzida de *M. oleífera* que foi inserida na água.

Assim como na condição de água 10 uT, verificou-se também maior concentração de THMs quando utilizado somente *M. oleifera* na água com 20 uT (Figura 21). Houve redução na concentração de THMs principalmente na proporção *Moringa*:PAC 80:20; com exceção desta, as demais associações de coagulantes não interferiram na formação ou redução dos THMs, ou seja, a concentração permaneceu próxima a da água inicial.

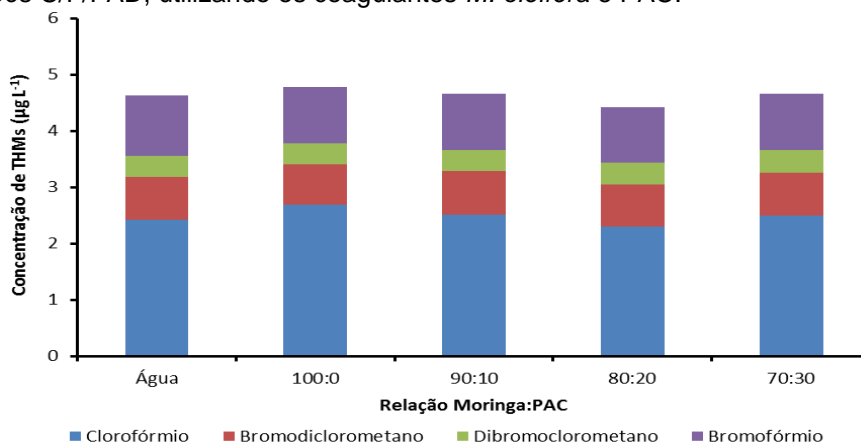
Já na água com 30 uT, foi possível observar redução de THMs ao associar *Moringa*:PAC em relação à condição em que foi empregada apenas *M. oleifera*, devido, provavelmente, a maior quantidade de coagulante utilizada nesta condição (40 mg L⁻¹). Há tendência de redução da concentração de THMs na proporção em que se reduz a quantidade de *M. oleifera* (Figura 21).

Os resultados encontrados neste estudo foram bastante semelhantes aos apresentados por Santos et al. (2013), que também trabalharam com coagulante *M. oleifera* em água de rio (49 uT), com concentração de inicial de THMs de 4,45 µg L⁻¹. Na dosagem de 50 mg L⁻¹, após o tratamento proposto (coagulação, floculação e sedimentação), tais autores detectaram concentração de THMs de 5,1 µg L⁻¹ – ou seja, acréscimo de 14,6%, próximos aos encontrados neste estudo: 10 uT – 3,3%; 20 uT – 10,6%; 30 uT – 0%.

Abe et al. (2014), ao analisarem a formação de THMs em água de rio, com concentração inicial de 4,5 µg L⁻¹, também obtiveram, após coagulação, floculação e sedimentação, acréscimo em torno de 10% ao utilizarem o coagulante *M. oleifera* na dosagem de 50 mg L⁻¹, acréscimo este igual ao verificado neste estudo, quando utilizado somente o coagulante natural, nas águas 10 e 20 uT, com as dosagens de 20 e 30 mg L⁻¹, respectivamente.

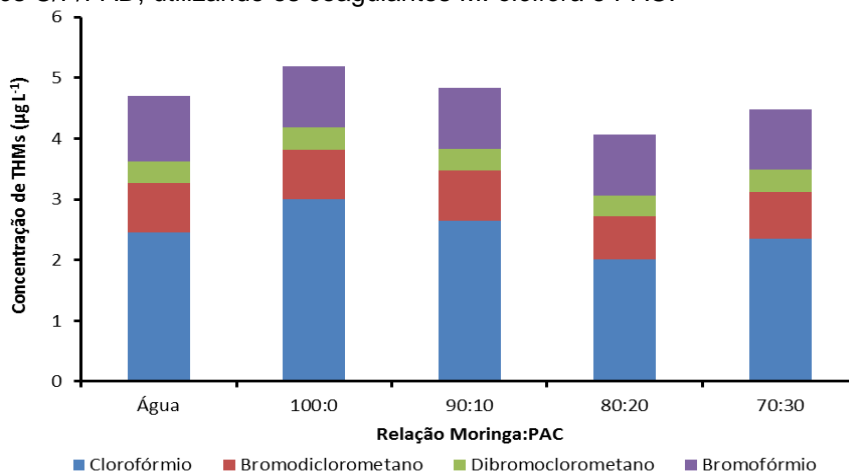
Além da concentração de THMs totais, também foram avaliadas a concentração em função dos quatro principais compostos que compõem o grupo de THMs: clorofórmio, bromodiclorometano, dibromoclorometano e bromofórmio. Nas Figuras 22, 23 e 24 são dispostas a concentração antes e após C/F/FAD nas condições de água 10, 20 e 30 uT, respectivamente.

Figura 22 - Concentração dos compostos que compõem o grupo de THMs, na condição de água 10 uT, antes e após C/F/FAD, utilizando os coagulantes *M. oleifera* e PAC.



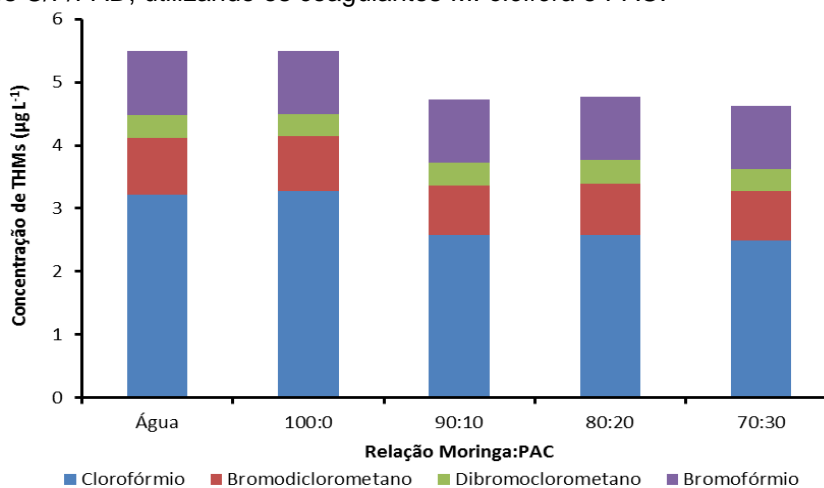
Fonte: o autor, 2018.

Figura 23 - Concentração dos compostos que compõem o grupo de THMs, na condição de água 20 uT, antes e após C/F/FAD, utilizando os coagulantes *M. oleifera* e PAC.



Fonte: o autor, 2018.

Figura 24 - Concentração dos compostos que compõem o grupo de THMs, na condição de água 30 uT, antes e após C/F/FAD, utilizando os coagulantes *M. oleifera* e PAC.



Fonte: o autor, 2018.

Ao analisar as Figuras 22, 23 e 24 pode-se observar que na água inicial, nas três condições de turbidez, houve formação predominantemente de clorofórmio. Também foi possível perceber que a variação da formação dos THMs, após C/F/FAD, esteve condicionada a maior ou menor presença de clorofórmio – ou seja, não ocorreram, de modo geral, variações dos compostos bromodiclorometano, dibromoclorometano e bromofórmio.

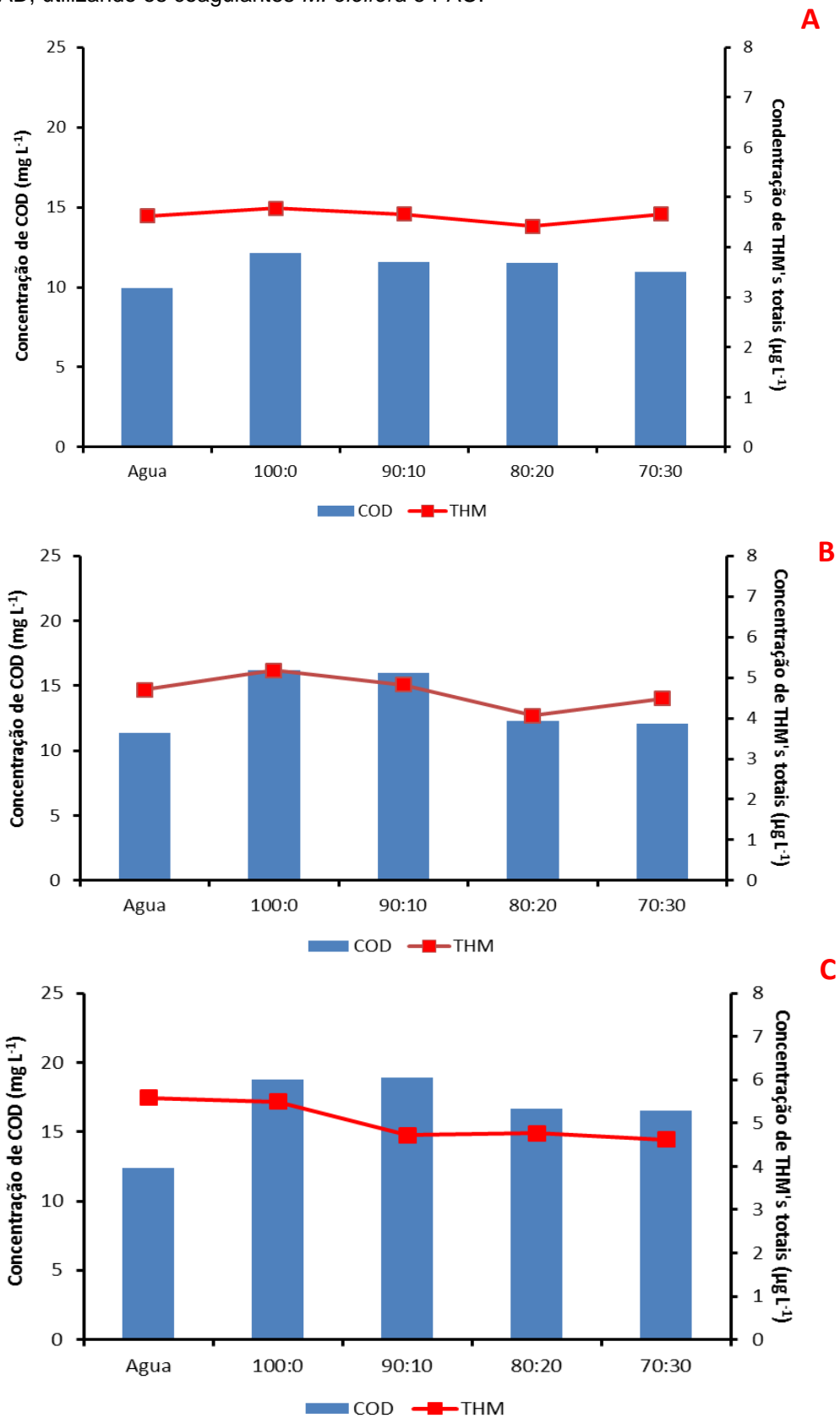
Outro aspecto detectado em relação ao clorofórmio é de que, nas três condições de água (10, 20 e 30 uT), ao utilizar somente o coagulante *M. oleifera*, a concentração final do composto foi maior (2,7, 3,0 e 3,3 $\mu\text{g L}^{-1}$, respectivamente), conforme se aumentou a turbidez – desse modo, a maior concentração ocorreu na condição de água de 30 uT (Figuras 22, 23 e 24).

Também foi possível verificar que, nas águas com 10 e 20 uT, as maiores remoções de clorofórmio ocorreram na proporção de coagulante *Moringa*:PAC 80:20; a partir desta dosagem, maiores quantidades de *M. oleifera* (90:10 e 100:0) ocasionaram maior formação de clorofórmio. Já na água a 30 uT, todas as proporções de coagulante *M. oleifera* e PAC acarretaram em decréscimo de clorofórmio, sendo que, quando utilizado somente o coagulante *M. oleifera*, houve acréscimo na concentração do composto (Figuras 22, 23 e 24).

A respeito dos resultados encontrados para o clorofórmio, é possível relacionar com aqueles obtidos por Bach (2014), que verificou que o acréscimo de ácido húmico favoreceu o aumento da formação de clorofórmio, devido a maior quantidade de sítios reativos para o ataque do cloro. Neste estudo, a maior concentração de clorofórmio em água com maior turbidez (30 uT), bem como quando da utilização somente do coagulante *M. oleifera*, fez com que, possivelmente, houvesse maior quantidade de grupos químicos que favoreceram o desencadeamento de reações, nas quais foram formados estes compostos.

Na Figura 25 são ilustrados os gráficos de THMs e COD, nas três condições estudadas, a fim de verificar se a formação de THMs esteve atrelada à concentração de COD na água.

Figura 25 - Gráfico de concentração de THMs e COD, nas três condições de água (10, 20 e 30 uT) e após C/F/FAD, utilizando os coagulantes *M. oleifera* e PAC.



Legenda:

Fonte: O autor, 2018.

A: Água 10 uT

B: Água 20 uT

C: Água 30 uT.

Na condição de água de 10 uT, foi possível verificar que houve tendência do acréscimo de COD proporcional ao aumento dos THMs, exceto na proporção 70:30, conforme disposto na Figura 25a. Já na água a 20 uT, na associação dos coagulantes nas proporções 70:30 e 80:20, ocorreu diminuição de concentração de THMs em relação à água inicial, enquanto a concentração de COD, nestas mesmas dosagens de coagulantes associados, permaneceu a mesma (Figura 25b). Ainda, percebeu-se que, a partir da associação de coagulantes 80:20, a medida em que se aumentou a proporção de *M. oleifera* na água (proporção 90:10 e 100%), também ocorreu aumento do COD – sendo estabelecido, deste modo, relação entre os dois parâmetros.

Apenas na condição de água de 30 uT não se verificou o que fora observado nas condições anteriores: não houve relação entre a formação de THMs com o acréscimo de COD, advindo da inserção de *M. oleifera* na água.

Outro aspecto que pode ser considerado, neste estudo, para explicar a baixa quantidade de THMs presente após C/F/FAD, é de que estes THMs são formados, principalmente, por substâncias húmicas (KIM; YU, 2005; PEREIRA, 2007). Como visto anteriormente, os resultados obtidos para os compostos com absorvância ao UV_{254nm} e SUVA, bem como o disposto nos gráficos de MEE, permitem afirmar que a água de estudo é de característica hidrofílica, com predomínio de estruturas menos complexas e de baixa massa molar - que não ocasionaram formação relevante de THMs. Do mesmo modo, também sugere-se que o aumento do COD, provocado pela inserção do coagulante *M. oleifera* - que foi empregado em baixas concentrações - não gerou quantidades elevadas de THMs após o tratamento por C/F/FAD.

6 CONCLUSÕES

A aplicação do extrato salino (CaCl_2) de sementes de *M. oleifera* por intermédio da FAD atingiu o resultado esperado, no que concerne à redução de turbidez e cor, principalmente. As melhores dosagens de coagulante foram 20, 30 e 40 mg L^{-1} para as águas com turbidez de 10, 20 e 30 uT, respectivamente. Os valores residuais obtidos permitem afirmar que, mesmo em águas com baixa turbidez, o uso deste coagulante pode ser recomendado; inclusive, em águas com cor baixa - característica não encontrada em outros trabalhos na literatura.

A associação dos coagulantes *M. oleifera* e PAC proporcionou resultados ainda melhores na remoção dos parâmetros turbidez, cor e matéria orgânica em virtude, possivelmente, da maior interação proporcionada pelo PAC, a qual resultou em flocos maiores, capazes de agregar maior quantidade de elementos presentes na água.

O uso dos parâmetros de espectroscopia de fluorescência molecular de emissão, excitação e sincronizado, bem como o SUVA, são opções acerca dos efeitos que o coagulante *M. oleifera* pode ocasionar na água. Com auxílio destas ferramentas (em especial, os gráficos de MEE), foi possível verificar que a associação dos coagulantes neste estudo atuou, principalmente, na remoção de alguns tipos de proteínas (faixa de Exc/Emi - 200:250 nm /350:450 nm), bem como demonstrou que quanto maiores as proporções de *M. oleifera* empregadas, maior o acréscimo de proteínas na água (Exc/Emi - 200:225 nm / 250:350 nm).

O aumento do COD proporcionado pela inserção dos coagulantes associados *M. oleifera* e PAC na água foi baixo, devido às baixas concentrações de coagulante que foram empregadas. Tal fato é importante para afirmar que o uso associado do extrato salino (CaCl_2) de sementes de *M. oleifera* e PAC como coagulantes, em baixas dosagens, é viável, visto que não acarreta considerável aumento na matéria orgânica dissolvida na água.

A aplicação de pequenas dosagens dos coagulantes associados também não ocasionou acréscimo de precursores para formação de THMs. Todos os resultados obtidos para este parâmetro situaram-se abaixo do limite determinado na Portaria 2914/2011, de 100 $\mu\text{g L}^{-1}$.

Após o desenvolvimento e análise dos resultados, sugere-se como recomendações para estudos futuros:

- Estudo comparativo com água contendo predomínio de substâncias húmicas e fúlvicas, a fim de estabelecer comparações entre a eficiência do tratamento proposto em função da maior ou menor presença de compostos aromáticos;

- Estudo comparativo para avaliar a utilização de outros sais para extração proteica das sementes de *M. oleifera*.

- Realização de etapa de filtração posteriormente a C/F/FAD, para que seja possível verificar se o tratamento completo irá atender aos requisitos estabelecidos na Portaria 2914/2011 (BRASIL, 2011);

- Realização da etapa de filtração direta, para que seja possível verificar se o tratamento irá atender aos requisitos estabelecidos na Portaria 2914/2011 e;

- Análise da viabilidade econômica do uso associado dos coagulantes *M. oleifera* e PAC, para o tratamento de água.

REFERÊNCIAS

- ABE, S.; FURLAN, C.; BONGIOVANI, M.; NISHI, L.; BERGAMASCO, R. Avaliação do processo de microfiltração quanto à remoção de matéria orgânica natural (MON) com a finalidade de minimizar a formação dos trihalometanos. **In: X Congresso Brasileiro de Engenharia Química**. v. 1, n. 1, 2014.
- ABIDIN, Z. Z.; SHAMSUDIN, N. S. M.; MADEHI, N.; SOBRI, S. Optimisation of a method to extract the active coagulant agent from *Jatropha curcas* seeds for use in turbidity removal. **Industrial Crops and Products**, v. 41, p. 319-329, 2013.
- AIKEN, G. Organic Matter in Ground Water. U.S. Geological Survey Artificial Recharge Workshop Proceedings. **Anais...** Sacramento, California: 2002.
- AMARAL, L. A.; ROSSI, O. D. J.; SOARES E BARROS, L. S.; LORENZON, C. S.; NUNES, A. P. **Tratamento alternativo da água utilizando extrato de semente de *Moringa oleifera* e radiação solar**. Arquivos do Instituto Biológico, v. 73, n. 3, p. 287-293, 2006.
- APHA, AWWA, WEF. **Standard Methods for examination of water and wastewater**. ed. 22. Washington: American Public Health Association. 1360 p. 2012.
- ARANTES, C. C. **Aplicação de coagulante à base de pó de sementes de *Moringa oleifera* confinado em sachês no tratamento de água**. 2014. 256 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2014.
- AWAD, M.; WANG, H.; LI, F. Preliminary study on combined use of moringa seeds extract and PAC for water treatment. **Research Journal of Recent Sciences**, v. 2, p. 52-55, 2013.
- BACH, I. **Avaliação da formação de trihalometanos em processos de cloração de água e estudo do efeito do pré-tratamento fundamentado no uso de radiação ultravioleta**. 2014. 94 f. Dissertação (Mestrado em Química). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2014.
- BAGHOT, S. A.; DIGNUM, M.; GREFFE, A.; KROESBERGEN, J.; AMY, G. L. Characterization of NOM in a drinking water treatment process train with no disinfectant residual. **Water Sci. Technol.**, v. 9, p. 379-386, 2009.

BAGHOTH, S. A.; SHARMA, S. K.; AMY, G. L. Tracking natural organic matter (NOM) in a drinking water treatment plant using fluorescence excitation-emission matrices and parafac. **Water Research**, v. 45, p. 797-809, 2011.

BAPTISTA, A. T. A.; SILVA, M. O.; GOMES, R. G.; BERGAMASCO, R.; VIEIRA, M. F.; VIEIRA, A. M. S. Protein fractionation of seeds of *Moringa oleifera* lam and its application in superficial water treatment. **Separation and Purification Technology**, v. 180, p. 114-124, 2017.

BAPTISTA, A. T. A.; SILVA, M. O.; PINTO, L. A. de M.; CARDINES, P. H. F.; MATEUS, G. A. P.; TAVARES, F. O.; GOMES, R. G.; BERGAMASCO, R.; VIEIRA, A. Coagulation-flocculation process with ultrafiltered saline extract of *Moringa oleifera* for the treatment of surface water. **Chemical Engineering Journal**, v. 276, p. 166-173, 2015.

BATISTA, R. O.; FILHO, L. C. A. L.; SILVA, J. B. A.; DUTRA, I.; SANTOS, D. B. Tecnologias limpas aplicadas ao tratamento de água superficial no semiárido brasileiro. **Enciclopédia Biosfera**. Centro Científico Conhecer. v. 9, n.16, p. 186-198, 2013.

BELTRÁN-HEREDIA, J.; SÁNCHEZ-MARTÍN, J. Removal of sodium lauryl sulphate by coagulation/flocculation with *Moringa oleifera* seed extract. **J. Hazard Matter**, v. 164, p. 713-719, 2009.

BHATTI, Z. A.; MAHMOOD, Q.; RAJA, I. A. Sewage Water Pollutants' Removal Efficiency Correlates to the Concentration Gradient of Amendments. **J. Chem. Soc. Pak.**, v. 41, n. 4, p. 665-671, 2009.

BIEROZA, M.; BAKER, A.; BRIDGEMAN, J. Relating freshwater organic matter fluorescence to organic carbon removal efficiency in drinking water treatment. **Science of the Total Environment**, v. 407, p. 1765-1774, 2009.

BONGIOVANI, M. C.; VALVERDE, K. C.; BERGAMASCO, R. Utilização do processo combinado coagulação/floculação/UF como processo alternativo ao tratamento convencional utilizando como coagulante a *Moringa oleifera* Lam. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 9, n. 11, p. 65-76, 2013.

BONGIOVANI, M. C. **Estudo da minimização da formação de trihalometanos em presença de matéria orgânica natural (MON) utilizando processos alternativos de tratamento**. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2013.

BOTERO, J. M. **Substâncias húmicas: interações com nutrientes e contaminantes**. 2010. 75 f. Tese (Doutorado em Química) – Instituto de Química de Araraquara, Universidade Estadual Paulista. Araraquara, 2010.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. Secretaria de Vigilância em Saúde. Série B. Textos Básicos de Saúde. 212 p. Brasília, 2006.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria n. 2914, de 12 de dezembro de 2011**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, 2011.

CALDERONI, G; SCHNITZER, M. Effects of age on the chemical structure of paleosol humic acids and fulvic acids. **Geochimica et Cosmochimica Acta.**, v. 48, p. 2045-2051, 1984.

CAMACHO, F. P.; SOUSA, V. S.; BERGAMASCO, R.; TEIXEIRA, M. R. The use of *Moringa oleifera* as a natural coagulant in surface water treatment. **Chemical Engineering Journal**, v. 303, p. 226-237, 2017.

CAMACHO, F. P.; STROHER, A. P.; MORETI, L.; SILVA, F. A.; WURZLER, G. T.; NISHI, L.; BERGAMASCO, R. Remoção de cianobactérias e cianotoxinas em águas de abastecimento pela associação de flotação por ar dissolvido e nanofiltração. **E-xacta**, v. 5, n. 2, p. 127-138, 2012.

CAMPOS, R. F. **Estudo do potencial de remoção de substâncias húmicas na água com aplicação de enzimas fungicas**. 2011. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente). Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2011.

CAMPOS, J. R.; REALI, M. A. P. **Emprego de Flotação por Ar Dissolvido na Clarificação de Águas para Abastecimento**. Boletim de Hidráulica e Saneamento. EESCUSP - São Carlos, 51p. 1985.

CARVALHO, M. J. H. **Uso de coagulantes naturais no processo de obtenção de água potável**. 2008. 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Departamento de Engenharia Civil. Universidade Estadual de Maringá, 2008.

CARVALHO, M. S. **Aplicação da *Moringa oleifera* na remoção de células de *Microcystis aeruginosa* e metabólitos por flotação por ar dissolvido seguida de filtração**. 2015. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

CARVALHO, M. S.; ALVES, B. R. R.; SILVA, M. F.; BERGAMASCO, R.; CORAL, L. A.; BASSETTI, F. J. CaCl₂ applied to the extraction of *Moringa oleifera* seeds and the use for *Microcystis aeruginosa* removal. **Chemical Engineering Journal**, v. 304, p. 469-475, 2016.

CHEN, J.; GU, B.; LEBOEUF, E. J.; PAN, H.; DAI, S. Spectroscopic characterization of the structural and functional properties of natural organic matter fractions. **Chemosphere**, v. 48, n. 1, p. 59-68, 2002.

CHEN, C.; ZHANG, X.; ZHU, L.; LIU, J.; HE, W.; HAN, H. Disinfection by-products and their precursors in a water treatment in a water treatment plant in North China: Seasonal changes and fraction analysis. **Science of the Total Environment**, v. 397, p. 140-147, 2008.

CHOWDHURY, Z. K.; AMY, G. L. Modelling disinfection by-products formation. In: Singer, P. C. (Ed.), Formation and control of disinfection by-products in drinking water. **American Water Works Association**, p. 53-64, 1999.

CHOY, S. Y.; PRASAD, K. M. N.; WU, T. Y.; RAGHUNANDAN, M. E.; RAMANAN, R. N. Utilization of plant-based natural coagulants as future alternatives towards sustainable water clarification. **Journal of Environmental Sciences**, v. 26, p. 2178-2189, 2014.

COBLE, P. G. Characterization of marine and terrestrial DOM in seawater using excitation emission matrix spectroscopy. **Marine Chemistry**, v. 51, n. 4, p. 325-346, 1996.

CORBITT, R. A. **Standard handbook of environmental engineering**. 2 ed. Nova Iorque: McGraw-Hill, 1998.

DANIELSSON, L. G. On the use of filters for distinguishing between dissolved and particulate fractions in natural waters. **Water Research**, v. 16, p. 179-182, 1982.

DI BERNARDO, L. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 1. ed. Rio de Janeiro: ABES. Vol. 2. 1050 p. 1993.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. Di B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2 ed. São Carlos: Rima. 792 p. 2005.

DI BERNARDO, L.; PÁDUA, V. L. Método Comparativo do Tamanho dos Flocos Formados após Coagulação com Sulfato de Alumínio e Cloreto Férrico. **Anais eletrônicos do XXVII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitária y Ambiental**, p. 1-12, 2000, Porto Alegre.

DI BERNARDO, L.; PAZ, L. P. S. **Seleção de tecnologias de tratamento de água**. São Carlos: LDIBE. v. 1 e 2. 1560 p. 2008.

EDZWALD, J. K.; TOBIASON, J. E. Chemical principles, source water composition, and watershed protection. **Water Quality & Treatment - A handbook on drinking water**. American Water Works Association (AWWA). Sexta edição. Mac Graw Hill: Denver, Colorado. 2011.

EPA, United States Environmental Protection Agency. **Enhanced Coagulation and Enhanced Precipitate Softening Guidance Manual**. EPA 814-R-99-012, EUA, Office of Water (4607), 1999.

ESQUIVEL, L. G. R. **Remoção de matéria orgânica natural e precursores de trihalometanos por filtração em margem na lagoa do Peri, Santa Catarina, Brasil**. 2012. 246 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2012.

FERRARI, G.; MINGAZZINI, M. Synchronous fluorescence spectra of dissolved organic matter (DOM) of algal origin in marine coastal waters. **Marine Ecology Progress Series**, v. 125, p. 305-315, 1995.

FLORIDA - South Florida Water Management District. Testing Polyaluminum Chloride. 2008.

FUKUSHI, K.; TAMBO, N.; MATSUI, Y. A kinetic model for dissolved air flotation in water and wastewater treatment. **Water Science and Technology**, v. 31, p. 37-47, 1995.

GASSENSCHMIDT, U.; JANY, D.; TAUSCHER, B.; NIEBERGALL, H. Isolation and Characterization of a flocculating protein from *Moringa oleifera* Lam. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1243, p. 477-481, 1995.

GOPALAKRISHNAN, L.; DORIYA, K.; KUMAR, D. S. *Moringa Oleifera*: A review on nutritive importance and its medicinal application. **Food Science and Human Wellness**, v. 5, p. 49-56, 2016.

GRAZZIONTIN, P. G. **Caracterização de bactérias resistentes ao mercúrio e estratégias para biorremediação de ambientes contaminados**. 2015. 161 f. Tese (Doutorado em Microbiologia Agrícola e do Ambiente). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2015.

HAMID, S. H. A.; LANANAN, F.; KHATOON, H.; JUSOH, A.; ENDUT, A. A study of coagulating protein of *Moringa oleifera* in microalgae bioflocculation. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 113, p. 310-317, 2016.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano**. 2 ed. Belo Horizonte: UFMG. Vol. 2, 418 p., 2010.

HYDE, R. A.; MILLER, D. G.; PACKMAN, R. F.; RICHARDS, W. N. Water clarification by flotation. **Journal Water Supply: Research and Technology**, v. 69, p. 369-374, 1977.

JIANG, J.; GRAHAM, N. J. D.; HARWARD, C. Comparison of polyferric sulphate with other coagulants for the removal of algae-derived organic matter. **Water Science Technology**, v. 27, n. 11, p. 221-230, 1993.

JOSÉ, S. S.; ALBERGARIA, I.; SILVA, Z.; CARDOSO, A. S.; REBELO, H. Monitorização de Trihalometanos (THMs) em águas de consumo humano e piscina. **Ambiente e Saúde**, v. 5, n. 7, p. 23-26, 2016.

JOSHUA, R.; VASU, V. Characteristics of stored rain water and its treatment technology using *Moringa* seeds. **International Journal of Life Sciences Biotechnology and Pharma Research**. v. 2, n. 1, p. 155-174, 2013.

KAKOI, B.; KALULI, J. W.; NDIBA, P.; THIONG'O, G. Banana pith as a natural coagulant for polluted river water. **Ecological Engineering**. v. 95, p. 699-705, 2016.

KARADI, R. V.; GADGE, N. B.; ALAGAWADI, K. R.; SAVADI, R. V. Effect of *Moringa oleifera* Lam. root-wood on ethylene glycol induced urolithiasis in rats. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 105, p. 306-311, 2006.

KIM, H. C.; YU, M. J. Characterization of natural organic matter in conventional water treatment processes for selection of treatment processes focused on DBPs control. **Water research**, v. 39, n. 19, p. 4779-4789, 2005.

KWAAMBWA, H. M.; HELLSING, M.; RENNIE, A. R. Adsorption of a water treatment protein from *Moringa oleifera* seeds to a silicon oxide surface studied by neutron reflection. **Langmuir**, v. 26, n. 6, p. 3902-3910, 2010.

LEAL, M. J. C. **Remoção de matéria húmica aquática, ferro e manganês de águas para abastecimento por meio de coagulação, floculação, sedimentação e filtração com membranas**. 2013. 159 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2013.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3. ed. Campinas: Átomo. 496 p. 2010.

LO MONACO, P. A. V.; MATOS, A. T.; RIBEIRO, I. C. A.; NASCIMENTO, F. da S.; SARMENTO, A. P. Utilização de extrato de sementes de *Moringa* como agente coagulante no tratamento de água para abastecimento e águas residuárias. **Ambiente & Água**, v. 5, n. 3, p. 222-231, 2010.

MA, J.; FU, K.; JIANG, L.; DING, L.; GUAN, Q.; ZHANG, S.; ZHANG, H.; SHI, J.; FU, X. Flocculation performance of cationic polyacrylamide with high cationic degree in humic acid synthetic water treatment and effect of kaolin particles. **Separation and Purification Technology**, v. 181, p. 201-212, 2017.

MADRONA, G. S. **Extração/purificação do composto ativo da semente da *Moringa oleifera* Lam e sua utilização no tratamento de água para consumo humano**. 2010. 176 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Departamento de Engenharia Química. Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2010.

MALCOLM, R. L.; MACCARTHY, P. Limitations in the Use of Commercial Humic Acids in Water and Soil Research. **Environmental Science and Technology**, v. 20, p. 904-911, 1986.

MALLEY, J. P.; EDZWALD, J. K. Concepts for dissolved-air flotation treatment of drinking waters. **Journal Water Supply: Research and Technology**, v. 1, p. 7-77, 1991.

MARTYN, C. N.; BARKER, D. J. P.; OSMOND, C.; HARRIS, E. C.; EDWARDSON, J. A.; LACEY, R. F. Geographical relation between Alzheimer's disease and aluminium in drinking water. **Lancet**, v. 1, p. 59-62, 1989.

MATILAINEN, A.; GJESSING, E.; HED, L.; BHATNAGAR, A.; SILLANPAA, M. An overview of the methods used in the characterization of natural organic matter (NOM) in relation to drinking water treatment. **Chemosphere**, v. 83, n. 11, p. 1431-1442, 2011.

MCCONACHIE, G. L.; FOLKARD, G. K.; MATAWALI, M. A.; SUTHERLAND, J. P. Field trials of appropriate hydraulic flocculation processes. **Water Research**, v. 33, n. 6, p. 1425-1434, 1999.

METCALF; EDDY. **Wastewater engineering: treatment and reuse**. 4 ed. New York: Mc Graw-Hill Companies. 1819 p. 2003.

MEYBECK, M. Carbon, Nitrogen, and Phosphorus Transport by World Rivers Americans. **Journal of Science**, v. 282, p. 401-450, 1982.

MEYER, S. T. O Uso de Cloro na Desinfecção de Águas, a Formação de Trihalometanos e os Riscos Potenciais à Saúde Pública. **Caderno de Saúde Pública**, v. 10, p. 99-110, 1994.

MOBED, J. J.; HEMMINGSEN, S. L.; AUTRY, J. L.; MCGOWN, L. B. Fluorescence characterization of IHSS humic substances: Total luminescence spectra with absorbance correction. **Environmental Science & Technology**, v. 30, n.10, p. 3061-3065, 1996.

MORAES, L. C. K. **Estudo da coagulação-ultrafiltração com o biopolímero quitosana para a produção de água potável**. 2004. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2004.

MORENO, B. M. M.; HEREDIA, J. B.; GALLARDO, J. M. Microalgae removal with *Moringa oleifera*. **Toxicon**, n. 110, p. 68-73, 2016.

MORETI, L. O. R.; COLDEBELLA, P. F.; SANTOS, T. R. T.; CAMACHO, F. P.; VALVERDE, K. C.; BAZANA, S. L.; ARAKAWA, F. S.; SHIMABUKU, Q. L.; VIEIRA, M. F.; BERGAMASCO, R. Avaliação de um coagulante natural como agente floculante de *Dolichospermum flos aquae*, associado à flotação por ar dissolvido. **In.: XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química**. Florianópolis/SC, 2014.

MUKHERJEE, S.; MUKHOPADHYAY, S.; PARIATAMBY, A.; HASHIM, M. A.; SAHU, J. N.; SEN GUPTA, B. A comparative study of biopolymers and alum in the separation and recovery of pulp fibres from paper mill effluent by flocculation. **Journal of Environmental Science**, v. 26, n. 9, p. 1815-1860, 2014.

NDABIGENGESERE, A.; NASARASIAH, K. S. Quality of water treated by coagulation using *Moringa oleifera* seeds. **Water Research**, v. 32, p. 781-791, 1998.

NDABIGENGESERE, A.; NASARASIAH, K. S.; TALBOT, B. G. Active agents and mechanism of coagulation of turbid water using *Moringa oleifera*. **Water Research**, v. 29, p. 703-710, 1995.

NIKOLAOU, A.; GOLFINOPOULOS, S.; LEKKAS, T.; ARHONDITISIS, G. Factors Affecting the formation of organic by-products during water chlorination: A bench-scale study. **Water, Air and Soil Pollution**, n. 154, p. 357-371, 2004.

NWAIWU, N. E.; LINGMU, B. Studies on the effect of settling time on coliform reduction using *Moringa oleifera* seed powder. **Journal of applied Sciences in Environmental Sanitation**, v. 6, n. 3, p. 279-286, 2011.

OKUDA, T.; BAES, A.; NISHIJIMA, W.; OKADA, M. Improvement of extraction method of coagulation active components from *Moringa oleifera* seed. **Water Research**, v. 33, n. 15, p. 3373-3378, 1999.

OKUDA, T.; BAES, A.; NISHIJIMA, W.; OKADA, M. Coagulation mechanism of salt solution - extracted active component in *Moringa oleifera* seeds. **Water Research**, v. 35, n. 3, p. 830-834, 2001.

OLIVEIRA, J. L.; BOROSKI, M.; AZEVEDO, J. C. R.; NOZAKI, J. Spectroscopic investigation of humic substances in a tropical lake during a complete hydrological cycle. **Acta Hydrochimica et Hydrobiologica**, v. 34, n. 6, p. 608-617, 2006.

OLIVEIRA, L. L. C.; FERREIRA, G. G.; FERREIRA, G. R.; CORRÊA, L. F.; PEREIRA, R. R. Análise da taxa de remoção de turbidez em águas naturais utilizando-se extrato de sementes de *Moringa oleifera* Lam. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 1, n. 1, p. 204-210, 2011.

PACHECO, F. S.; CESAR, D. E.; ROLAND, F. Análise e comparação de carbono orgânico total em dois reservatórios do sistema furnas de geração de energia elétrica. **In: XI Seminário de Iniciação Científica**. Programa Furnas de Limnologia. Juiz de Fora, Minas Gerais, 2004.

PAIVA, P.M.G.; COELHO, L.C.B.B. Lectinas e antioxidante de sementes de *Moringa oleifera*. **In: Potencialidades da *Moringa oleifera* Lam**. São Cristóvão, v. 1, 83-97, 2011.

PATERNIANI, J. E. S.; MANTOVANI, M. C.; SANT'ANNA, M. R. Uso de sementes de *Moringa oleifera* para tratamento de águas superficiais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n. 6, p.765-771, 2009.

PAVANELLI, G. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada**. 2001. 216 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2001.

PAVÓN, J. L. P.; MARTÍN, S. H.; PINTO, C. G.; CORDERO, B. M. Determination of trihalomethanes in water samples: A review. **Analytica Chimica Acta**, v. 629, p. 6-23, 2008.

PEURAVUORI, J.; KOIVIKKO, R.; PIHLAJA, K. Characterization, differentiation and classification of aquatic humic matter separated with different sorbents: synchronous scanning fluorescence spectroscopy. **Water Research**, v. 36, n. 18, p. 4552-4562, 2002.

POUMAYE, N.; MABINGUI, J.; LUTGEN, P.; BIGAN, M. C. Contribution to the clarification of surface water from the *Moringa oleifera*: Case M'Poko River to Bangui, Central African Republic. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 90, p. 2346-2352, 2012.

PRITCHARD, M.; CRAVEN, T.; MKANDAWIRE, T.; EDMONDSON, A. S.; O'NEILL, J. G. A comparison between *Moringa oleifera* and chemical coagulants in the purification of drinking water - An alternative sustainable solution for developing countries. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 35, p. 798-805, 2010a.

PRITCHARD, M.; CRAVEN, T.; MKANDAWIRE, T.; EDMONDSON, A. S.; O'NEILL, J. G. A study of the parameters affecting the effectiveness of *Moringa oleifera* in drinking water purification. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 35, p. 791-797, 2010b.

RIBEIRO, A. T. A. **Aplicação da *Moringa oleifera* no tratamento de água para consumo humano: Remoção de poluentes por coagulação-floculação**. 2010. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto. Porto, Portugal, 2010.

RICHARD, C.; COELHO, C.; GUYOT, G.; SHALOIKO, L.; TRUBETSKOJ, O.; TRUBETSKAYA, O.; Fluorescence properties of the <5kDa molecular size fractions of a soil humic acid. **Geoderma**, v. 163, n. 1-2, p. 24-29, 2011.

RICHTER, C. A. **Água: Métodos e Tecnologia de Tratamento**. 2. ed. São Paulo: Blucher. 340 p. 2009.

RODRIGUEZ, F.; NÚÑEZ, L. Characterization of aquatic humic substances. **Water and Environment Journal**, v. 25, p. 163-170, 2011.

ROSA, A. H. **Substâncias húmicas: extração, caracterização, novas perspectivas e aplicações**. 2001. 87 f. Tese (Doutorado em Química) - Instituto de Química de Araraquara. Universidade Estadual Paulista. Araraquara, 2001.

ROSALINO, M. R. R. **Potenciais efeitos da presença de alumínio na água de consumo humano**. 2011. 67 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente). Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, 2011.

SANCHES, S. M.; SILVA, C. H. T. de P. da; VIEIRA, E. M. Agentes Desinfetantes Alternativos para o Tratamento de Água. **Química Nova na Escola**, n.17, p. 8-12, 2003.

SANTANA, C. R. **Tratamento de água produzida através do processo de flotação utilizando a *Moringa oleífera* Lam como coagulante natural**. 2009. 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de Sergipe. São Cristóvão, 2009.

SANTOS, C. L. Trihalometanos - Resumo Atual. **Revista Engenharia Ambiental e Sanitária**, n. 26, p. 190-194, 1987.

SANTOS, T. R. T.; BAZANA, S.; COLDEBELLA, P. F.; ARAKAWA, F. S.; SHIMABUKU, Q. L.; SILVEIRA, C.; CAMACHO, F. P.; NISHI, L.; BERGAMASCO, R.; VIEIRA, M. F. Avaliação do processo combinado de coagulação/floculação/ filtração para remoção da matéria orgânica natural de água de abastecimento utilizando coagulante moringa *oleífera*. In: **XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química**. Florianópolis, 2014.

SANTOS, A. F. S.; PAIVA, P. M. G.; TEIXEIRA, J. A. C.; BRITO, A. G.; COELHO, L. C. B. B.; NOGUEIRA, R. Coagulant properties of *Moringa oleifera* protein preparations: application to humic acid removal. **Environmental Technology**, v. 33, n. 1, p. 69-75, 2012.

SANTOS, T. R. T.; VALVERDE, K. C.; NISHI, L.; BERGAMASCO, R.; VIEIRA, M. Estudo da formação de trihalometanos no processo de coagulação/floculação/adsorção em carvão ativado vegetal com o coagulante natural *Moringa oleifera* Lam para tratamento de água de abastecimento. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 5, n. 3, p. 64-72, 2013.

SANTIAGO, L. M. **Remoção de células de cianobactérias por processos de sedimentação e flotação por ar dissolvido: avaliação em escala de bancada**. 2008. 183 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

SAWYER, C. N.; MACCARTY, P. L.; PARKIN, G. F. **Chemistry for environmental engineering**. New York: McGraw-Hill, 658 p, 1994.

SCHULTEN, H. R. The three-dimensional structure of humic substances and soil organic matter studied by computational analytical chemistry. **Anal. Chemical.**, v. 351, p. 62-73, 1995.

SINGER, P. C.; WEINBERG, H. S.; BROPHY, K.; LIANG, L.; ROBERTS, M. GRISSTEDE, I.; KRASNER, S.; BARIBEAU, H.; ARORA, H.; NAJM, I. **Relative Dominance of Haloacetic Acids and Trihalomethanes in Treated Drinking Water**. AWWA Research Foundation, 2002, 298 p.

SHI, W.; BI, L.; PAN, G. Effect of algal flocculation on dissolved organic matters using cationic starch modified soils. **Journal of Environmental Sciences**, v. 45, p. 177-184, 2016.

SOUZA, F. S. M. **Avaliação dos processos oxidativos UV/H₂O₂ e UV/PAA na degradação de matéria orgânica natural e 2-MIB/geosmina em água de abastecimento**. 2012. 128 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

SPENCER, R. G. M.; BOLTON, L.; BAKER, A. Freeze/thaw and pH effects on freshwater dissolved organic matter fluorescence and absorbance properties from a number of UK locations. **Water Research**, v. 41, p. 2941-2950, 2007.

SRINIVASAN, P. T.; VIRARAGHAVAN, T. Characterization and concentration profile of aluminium during drinking water treatment. **Water SA**, v. 28, n. 1, p. 99-106, 2002.

SRIVASTAVA, V. C.; MALL, I. D.; MISHRA, I. M. Treatment of pulp and paper mill wastewaters with poly aluminum chloride and bagasse fly ash. **Colloids and Surfaces**, v. 260, p. 17-28, 2005.

STEVENSON, F. J. **Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions**. 2. ed. Nova Iorque: John Wiley. 512 p. 1994.

SUFFET, I.H.; MACCARTHY, P. Aquatic Humic Substances - Their Influence on the Fate and Treatment of Pollutants, *Advances in Chemistry*. **American Chemical Society**, p. 13-30, 1988.

TEIXEIRA, R. M.; CAMACHO, F. P.; SOUSA, V. S.; BERGAMASCO, R. Green technologies for cyanobacteria and natural organic matter water treatment using natural based products. **Journal of Cleaner Production**, v. 162, p. 484-490, 2017.

THURMAN, E. M. **Organic geochemistry of natural Waters**. Kluwer Academic Publishers, 1985.

TOR, A.; AYDIN, M. E. Application of liquid-phase microextraction to the analyses of trihalometanes in water. **Analytica Chimica Acta**, v. 575, n. 1, p. 138-143, 2006.

TOSCANO, I. A. S. **Influência das substâncias húmicas aquáticas na determinação de atrazina por imunoenensaio (Elisa)**. 1999. 107 f. Tese (Doutorado em Química) - Instituto de Química de Araraquara, Universidade Estadual Paulista. Araraquara, 1999.

USEPA – U. S. Environmental Protection Agency. **Alternative disinfectants and oxidants**. Guidance Manual. Ohio, 1999.

USEPA 415.3 – U. S. Environmental Protection Agency. **Determination of total organic carbon and specific UV absorbance at 254 nm in source water and drinking water**. Ohio: 2009.

VALVERDE, K. C. **Avaliação do processo de tratamento de água utilizando a associação do coagulante natural *Moringa oleifera* Lam e coagulantes químicos**. 2014. 184 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química), Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2014.

VAN BREMEM, J. Water Quality. International Course in Sanitary Engineering. Delft: IHE/International Institute for Infrastructural, Hydraulic and Environmental Engineering. 1984.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais. 243 p.1996.

WEY, N.; ZHANG, Z.; LIU, D.; WU, Y.; WANG, J.; WANG, Q. Coagulation behavior of polyaluminum chloride: Effects of pH and coagulant dosage. **Chinese Journal of Chemical Engineering**, v. 23, p. 1041-1046, 2015.

WIECHETECK, G. K.; BENINI, B. D. D. S.; DI BERNARDO, L. Remoção de substâncias húmicas utilizando dupla filtração com filtro ascendente de areia grossa ou de pedregulho. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 9, n. 2, p. 156-164, 2004.

YARAHMADI, M.; HOSSIENI, M.; BINA, B.; MAHMOUDIAN, M.; NAIMABADIE, A.; SHAHSAVANI, A. Application of *Moringa oleifera* Seed Extract and Polyaluminum Chloride in Water Treatment. **World Applied Sciences Journal**, v. 7, p. 962-967, 2009.

YE, C.; WANG, D.; SHI, B.; YU, J.; QU, J.; EDWARDS, M.; TANG, H. Alkalinity effect of coagulation with polyaluminum chlorides: role of electrostatic patch. **Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects**, v. 294, p. 163-173, 2007.

ZHAN, X.; GAO, B.; YUE, Q.; WANG, Y.; WANG, Q. Coagulation efficiency of polyaluminum chloride for natural organic matter removal from low specific UV absorbance surface water and the subsequent effects on chlorine decay. **Chemical Engineering Journal**, v. 161, p. 60-67, 2010.

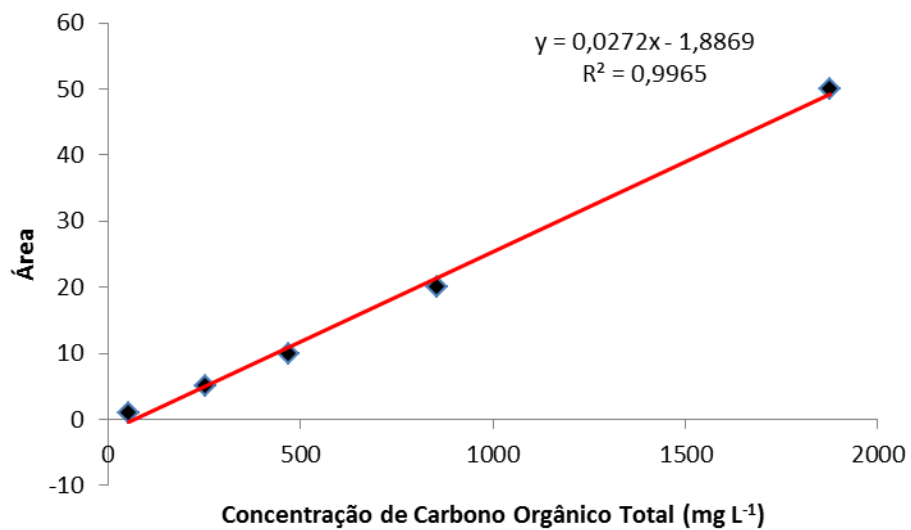
ZHAO, R.; LAO, W.; XU, X. Headspace liquid-phase microextraction of trihalomethanes in drinking water and their gas chromatography determination. **Talanta**, v. 62, p. 751-756, 2004.

ZHAO, Y. X.; GAO, B. Y.; SHON, H. K.; WANG, Y.; KIM, J. H.; YUE, Q. Y.; BO, X. W. Anionic polymer compound bioflocculant as a coagulant aid with aluminum sulfate and titanium tetrachloride. **Bioresource Technology**, v. 108, p. 45-54, 2012.

ZHOU, Z.; YANG, Y.; LI, X.; JI, S.; ZHANG, H.; WANG, S.; HAN, X. The removal characteristics of natural organic matter in the recycling of drinking water treatment sludge: Role of solubilized organics. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 28, p. 259-268, 2016.

ZOUBOULIS, A.; TRASKAS, G.; SAMARAS, P. Comparison of Efficiency between Poly Aluminium Chloride and Aluminium Sulphate Coagulants during Full scale Experiments in a Drinking Water Treatment Plant. **Separation Science and Technology**, v. 43, p. 1507-1519, 2008.

APÊNDICE A - REGRESSÃO LINEAR REFERENTE À CURVA DO CARBONO ORGÂNICO TOTAL



APÊNDICE B - REGRESSÃO LINEAR REFERENTE À CURVA DO CARBONO INORGÂNICO

