



**Extrato de acácia negra (*Acacia mearnsii* de Wild.) no tratamento de efluentes emulsionados: estudo das concentrações e parâmetros operacionais**  
**Extract of black acacia (*Acacia mearnsii* of Wild.) in the treatment of emulsified effluent: study of the concentrations and operating parameters**

Gisiéli Carla Morandi<sup>1</sup>

Aniela Pinto Kempka<sup>2</sup>

**Resumo:** O extrato de Acácia Negra vem sendo caracterizado como uma grande fonte de taninos e devido ao seu alto poder de clarificação é apontado como um agente coagulante no tratamento primário de efluentes industriais. Um grande problema das indústrias de extração de óleos comestíveis é a geração de efluentes oleosos, com emulsões estáveis óleo-água, que devem ser tratados antes de serem descartados, a fim de reduzir seus impactos ambientais. O objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência de extrato de Acácia Negra como agente coagulante na desestabilização de emulsões sintéticas, com 3 g/L e 6 g/L de óleo de soja ou óleo de girassol, chamadas efluentes emulsionados. Foram estudadas as concentrações do coagulante e os parâmetros de agitação do processo de coagulação, utilizando a metodologia de superfície de resposta. Para os efluentes com óleo de soja os maiores percentuais de remoção de turbidez foram de 61 % e 53 %, para os efluentes com 3 g/L e 6 g/L, respectivamente, utilizando-se 0,5 % (v/v) de extrato de Acácia Negra. Para os efluentes com óleo de girassol, os percentuais de remoção de turbidez foram de 42 % e 45 % com uso de 0,5 % (v/v) de Extrato de Acácia Negra, para os efluentes emulsionados com 3 g/L e 6 g/L, respectivamente. As condições de agitação otimizadas foram as mesmas para os efluentes, sendo a velocidade de agitação rápida de 150 rpm (por 1 minuto) e a velocidade de agitação lenta de 100 rpm (por 20 minutos).

**Palavras-chave:** Coagulante natural, Emulsão, Desestabilização, Velocidades

<sup>1</sup>Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC

<sup>2</sup>Universidade do Estado de Santa Catarina- UDESC

**Abstract:** The Black Acacia extract is being characterized as a major source of tannins and due to its high power of clarification, is appointed as a coagulant agent in the primary treatment of industrial effluents. A major problem of edible oil extraction industry is the generation of oily wastewater, with stable oil-water emulsions, which must be treated before disposal in order to reduce their environmental impact. The objective of this study was to evaluate the extract of Black Acacia efficiency as coagulating agent in the destabilization of synthetic emulsions, with 3 g/L and 6 g/L soybean oil or sunflower oil, termed emulsified effluent. The concentration of the coagulant and the agitation parameters of the coagulation process was studied by using the response surface methodology. For effluent of soybean oil, the turbidity removal percentage it was 61 % and 53 % for emulsions with 3 g/L and 6 g/L, respectively, using 0.5 % (v/v) of extract of Black Acacia. For effluents with sunflower oil, the turbidity removal percentages were 42 % and 45 % with the use of 0.5 % (v/v) extract Black Acacia, for the emulsified effluent with 3 g/L and 6 g/L, respectively. The optimal stirring conditions were the same for all effluents, with rapid stirring speed of 150 rpm (for 1 minute) and slow stirring speed of 100 rpm (for 20 minutes).

**Keywords:** Natural coagulant, emulsion, destabilization, speeds.

---

## **1.Introdução**

Efluentes industriais, na sua maioria, possuem elevadas concentrações de poluentes orgânicos e/ou inorgânicos, podendo conter também poluentes tóxicos (Nasr et al., 2007). As indústrias de extração de óleos vegetais, tais como óleo de soja e girassol, utilizam processos de extração que demandam grandes volumes de água e geram grandes quantidades de efluentes que contém óleo ou outros contaminantes químicos (Schons, 2008).

O efluente gerado por indústrias de extração de óleo vegetal geralmente se encontra na forma de emulsão, formada pelos óleos residuais de tubulações e equipamentos que entram em contato com água e produtos químicos oriundos da higienização (Santos et al., 2014). Esta emulsão é estável à luz e ao calor e de difícil biodegradação, acarretando assim, efeitos prejudiciais a todo o ecossistema impactado (Silva et al., 2014).

O processo de separação entre as fases oleosa e aquosa consiste em promover uma aproximação das gotículas de água ou óleo para que ocorra a coalescência e, em seguida, separar as gotículas aglomeradas (Fouad, 2014). Esse fenômeno pode ser obtido através de coagulação, que promove a desestabilização coloidal das partículas e, subsequentemente, o aumento no tamanho de partícula (Choy et al., 2015) favorecendo a separação das fases.

A melhoria do processo de coagulação encontra-se estreitamente ligada ao estabelecimento dos parâmetros operacionais do processo, a exemplo da velocidade de agitação rápida e lenta (Rossini et al., 1999). Na etapa de agitação rápida ocorrem interações entre o coagulante e a água, formando espécies hidrolisadas, sendo geralmente necessária agitação intensa para que o processo de coagulação seja eficiente. Os gradientes que produzem tensão cisalhante nos flocos existentes são limitados para que não ultrapassem a capacidade de resistência ao cisalhamento dessas partículas, assim esta operação deve ocorrer sob agitação lenta e mais duradoura (Mhaisalkar et al., 1991).

A coagulação pode ser efetuada utilizando agentes artificiais ou naturais. Entre os dois, os coagulantes naturais têm sido reconhecidos por sua aplicação em purificação de água (Bratby, 2006; Dorea, 2006). A forma de coagulação mais comum é com coagulantes artificiais (sais de ferro ou de alumínio) ou de polímeros sintéticos, seguidos por agitação rápida, com o intuito de homogeneizar a mistura (Pavanelli, 2001).

Em geral, as doses de coagulantes usadas no tratamento físico-químico das águas residuárias oleosas são consideravelmente superiores às doses utilizadas no tratamento de água para abastecimento público (Guimarães, 2013). Além disso, como resultado do processo de coagulação/floculação é gerado grande volume de lodo residual com alto teor de alumínio ou ferro, de difícil disposição e tratamento. O residual de alumínio e ferro na água residuária obtida por esses processos também pode ser elevado, o que pode inviabilizar seu tratamento posterior por processo biológico, por serem tóxicos ao metabolismo microbiano (Gregory, 2006).

Em contraste com coagulantes artificiais, coagulantes a base de plantas são considerados mais seguros (Asrafuzzaman et al., 2011). Existe uma gama de coagulantes naturais sendo estudados e utilizados, sendo os mais comuns no tratamento de águas residuais as sementes de *Moringa oleifera*, sementes Nirmali, taninos e *Opuntia ficus indica* (Yin, 2010).

Fontes de coagulantes naturais a base de taninos, vem sendo estudadas para aplicação em diferentes tipos de efluentes, dentre eles encontra-se o extrato de Acácia Negra (*Acacia mearnsii* de Wild.), fonte de taninos que possui alta eficiência no tratamento de águas residuais (Oladoja, 2014).

Coagulantes derivados de taninos representam viável fonte de tratamento, de tal forma existe um grande interesse econômico e biológico em pesquisas dos mesmos. A capacidade destes novos produtos em vários campos é mais do que evidente na remoção de turbidez (Beltrán- Heredia et al., 2012).

Acácia Negra (*Acacia mearnsii* de Wild.) está entre as oito espécies florestais mais plantadas no Brasil (SNIF, 2015). É historicamente reconhecida pela qualidade de sua casca, de onde são obtidos os extratos vegetais, ricos em taninos e fenóis, que originam os taninos (Martins-Corder et al., 1999).

Taninos extraídos da Acácia Negra (*Acacia mearnsii de Wild*) atuam em sistemas coloidais, neutralizando cargas e formando pontes entre essas partículas, sendo este processo responsável pela formação dos flocos e consequente sedimentação. Dentre suas propriedades, o tanino não altera o pH da água tratada, uma vez que não consome a alcalinidade do meio, ao mesmo tempo em que é efetivo em uma ampla faixa de pH, de 4,5 a 8,0 (Martinez, 2002).

Neste sentido, o presente estudo tem como objetivo avaliar a eficiência do extrato de Acácia Negra (*Acacia mearnsii de Wild*) no tratamento de efluentes emulsionados (sintéticos), que simulam águas oriundas do processo de extração de óleos comestíveis, bem como definir e otimizar as condições operacionais em termos de agitação e concentração do coagulante tendo como variável resposta a turbidez em NTU.

## **2. Material e Métodos**

Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Bioprocessos do Departamento de Engenharia de Alimentos e Engenharia Química da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, Campus de Pinhalzinho - SC. As emulsões, chamadas de efluentes emulsionados, foram obtidas a partir de dois óleos comestíveis, óleo de girassol (Vitaliv) e óleo de soja (Soya). Como agente emulsificante utilizou-se Triton X-100 (Biotec), caracterizado como um detergente não iônico. O coagulante utilizado foi extrato de Acácia Negra (*Acacia mearnsii* de Wild.– Veta Organic).

### **2.1 Estabilidade e turbidez dos efluentes emulsionados**

Inicialmente realizou-se um estudo a fim de se obter os efluentes emulsionados e verificar sua estabilidade ao longo do tempo. Para o preparo dos efluentes utilizou-se Triton X-100 (Octoxynol) como agente emulsionante e cloreto de sódio (NaCl), ambos na concentração de 1 g/L, água destilada, óleo de soja e óleo de girassol (óleos em separado), nas concentrações de 3 g/L e 6 g/L, totalizando 4 diferentes efluentes emulsionados. As formulações foram submetidas à agitação mecânica em agitador eletromagnético a 1.000 rpm por 20 minutos (Gonzales e Torem, 2010; Gobbi, 2013).

Os efluentes emulsionados caracterizados como estáveis, após a avaliação visual, foram refeitos e submetidos a medidas de turbidez em Turbidímetro de bancada TB-1000 (Tecnal) durante um período de 300 minutos, com intervalos de 5, 15, 30 e 60 minutos até 300 minutos (a partir do tempo zero) (após os 60 minutos, incrementos de 60 minutos) de repouso, a fim de caracterizar a sua estabilidade. Os testes foram realizados em triplicatas.

## **2.2 Verificações da concentração de coagulante**

Para avaliar a desestabilização da emulsão e a remoção da turbidez da fase aquosa dos efluentes emulsionados oriundos dos dois tipos de óleos, foram avaliadas diferentes concentrações de extrato de Acácia Negra (*Acacia mearnsii de Wild*) como agente coagulante sendo: 0,5 % a 5,0 % (v/v) com incrementos de 0,5 %, totalizando 10 experimentos para cada efluente, em cada concentração de óleo. As emulsões com coagulante foram agitadas a 150 rpm por 1 minuto (velocidade de agitação rápida e tempo de agitação rápida), e posteriormente 100 rpm por 20 minutos (velocidade de agitação lenta e tempo de agitação lenta). As agitações foram realizadas em incubadora *Shaker* SL 222 (Solab). Os efluentes passaram por processo de separação de fases durante 30 minutos, sendo posteriormente realizadas as medidas de turbidez da fase aquosa.

## **2.3 Estudos das velocidades de agitação**

Após a verificação da concentração ideal de coagulante, foram estudados os parâmetros de velocidade do processo de coagulação/desestabilização da emulsão. Para tanto, utilizou-se um Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) com ponto central mostrado na Tabela 1, visando verificar a influência da velocidade de agitação rápida (VR) e da velocidade de agitação lenta (VL) (valores reais e codificados das variáveis) na desestabilização das emulsões através da determinação da turbidez da fase aquosa após o período de repouso/decantação. Os efluentes emulsionados foram preparados com descrito anteriormente a concentração de coagulante utilizada foi a concentração determinada no estudo das diferentes concentrações de coagulante.

Após a adição do coagulante, o efluente emulsionado foi colocado em *Shaker* (Solab) nas velocidades de agitação rápida (VR) e lenta (VL) de cada experimento do planejamento,

com tempo de agitação rápida de 1 minuto e tempo de agitação lenta de 20 minutos. Os efluentes foram deixados em repouso por 30 minutos para que ocorresse a separação de fases, sendo, após este tempo, avaliadas as medidas de turbidez da fase aquosa.

Tabela 1: Planejamento experimental DCCR utilizado no estudo da otimização das velocidades de agitação rápida e lenta do processo de tratamento dos efluentes emulsionados.

Experimento	VR* (rpm)	VL* (rpm)
E1	100 (-1)	80 (-1)
E2	100 (-1)	120 (+1)
E3	200 (+1)	80 (-1)
E4	200 (+1)	120 (+1)
E5	80 (-1,41)	100 (0)
E6	221 (+1,41)	100 (0)
E7	150 (0)	73 (-1,41)
E8	150 (0)	128 (+1,41)
E9	150 (0)	100 (0)
E10	150 (0)	100 (0)

\* VR significa Velocidade de Agitação Rápida e VL significa Velocidade de Agitação Lenta.

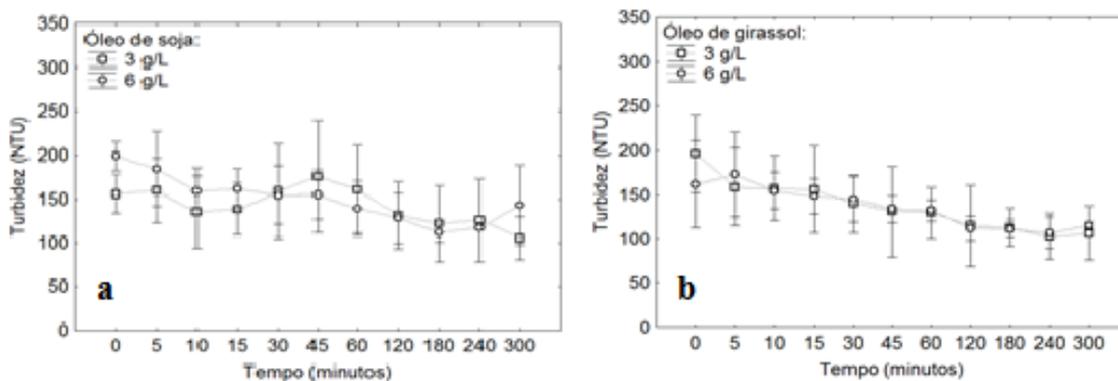
## 2.4 Análises estatística

A análise estatística dos resultados experimentais foi realizada utilizando o *software Statistica® 10.0* (Statsoft, Inc.). Foi realizado o Teste de Tukey sendo também avaliados os efeitos isolados e de interação entre as variáveis do planejamento proposto, todos com nível de 95 % de confiabilidade.

## 3.Resultados e discussão

### 3.1 Estabilidades dos efluentes emulsionados

Os resultados de turbidez ao longo do tempo dos efluentes emulsionados obtidos a partir d os 4 experimentos, estão mostrados nas Figuras 1a e 1b, para os óleos de soja e girassol respectivamente.



**Figura 1:** Perfis de turbidez para os efluentes emulsionados contendo 3 g/L e 6 g/L de óleo de soja ou girassol ao longo de 300 minutos.

Verifica-se que os efluentes emulsionados contendo óleo de soja (Figura 1a) ou óleo de girassol (Figura 1b) mantiveram-se estáveis ao longo de 300 minutos, não apresentando, para

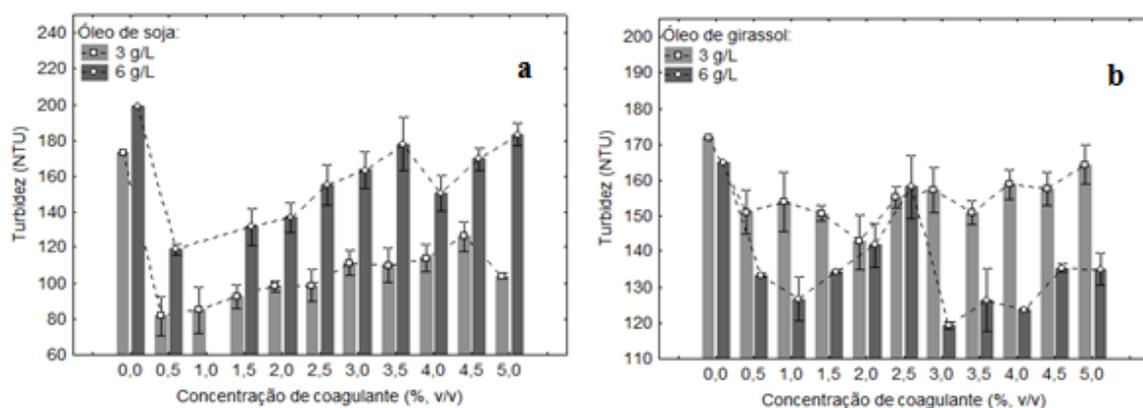
nenhum dos óleos, diferença estatística significativa ( $p > 0,05$ ). A avaliação da estabilidade da emulsão formada para a obtenção do efluente sintético é necessária devido a possíveis erros de interpretações em relação ao processo de coagulação, já que nesta etapa do estudo, a emulsão deve ser desestabilizada somente pela ação do coagulante. No estudo de Silva (2014), cujos efluentes eram compostos por emulsões óleo/água os resultados foram próximos aos obtidos no presente estudo em relação a estabilidade das emulsões.

A estabilidade de emulsões com concentrações mais baixas pode ser explicada por propriedades termodinâmicas e físicas como a viscosidade do óleo e a dimensão das partículas. Segundo Brock et al. (2008), a viscosidade de ambos os óleos (soja e girassol) são bastante próximas, sendo elas 59,0 mPa.s e 58,3 mPa.s, respectivamente, a uma temperatura ambiente de 25°C.

### 3.2 Concentrações ideal de coagulante

Após a verificação da estabilidade das emulsões ao longo do tempo, fez-se o estudo da concentração ideal de coagulante. Na Figura 2 estão representados os resultados de turbidez para os efluentes emulsionados compostos por óleo de soja (Figura 2a) e óleo de girassol (Figura 2b) utilizando extrato de Acácia Negra como agente coagulante, em diferentes concentrações.

Verifica-se, para ambos os óleos e ambas as concentrações de óleo no efluente, que houve uma remoção da turbidez, para todas as concentrações de agente coagulante testadas. Para os efluentes com adição de óleo de soja com concentrações de 3 g/L e 6 g/L (Figura 2a), pode-se observar que com a adição de 0,5 % (v/v) de extrato Acácia Negra obteve-se o menor valor de turbidez, portanto, o tratamento mais eficiente. Antov et al. (2012), em estudo utilizando extrato de semente de feijão como coagulante natural, obtiveram melhores percentuais de clarificação, próximo a 50 %, em águas turvas com concentrações de 0,1 a 0,2 % (v/v).



**Figura 2:** Perfis de turbidez para o efluentes emulsionados contendo 3 g/L e 6 g/L de óleo de soja após o tratamento com diferentes concentrações de extrato de Acácia Negra como coagulante.

O aumento da concentração de coagulante, a partir de 1 %, levou a menores remoções da turbidez. Esse fenômeno pode ser atribuído a um excesso de extrato, que acaba não participando da coagulação, propiciando uma maior turvação na água, devido a coloração escura

extrato de Acácia Negra. Ainda, a eficiência do coagulante tende a ser mais baixa à medida que a dosagem de coagulante aumenta (Sánchez-Martín et al., 2011). O excesso na dosagem do coagulante pode provocar a ressuspensão de partículas agregadas e esta sobredosagem pode ser identificada quando a dosagem aplicada atinge um ponto de inflexão conhecido como a concentração crítica de coagulação (CCC) (Teh et al., 2016).

Na concentração ideal, os coagulantes podem provocar um efeito físico-químico de desestabilização da emulsão, levando ao aumento do tamanho das gotas de óleo, melhorando assim a remoção total. Ainda, uma gota de óleo adquire uma carga elétrica superficial quando colocada em contato com soluções aquosas. As gotas de óleo na água adquirem uma carga negativa na sua superfície provavelmente devido à adsorção preferencial de íons hidroxila a partir da dissociação de moléculas de água. Assim, ocorre interação entre as gotículas e o coagulante (Zouboulis e Avranas, 2000).

Para o efluente com óleo de girassol (Figura 2b) na concentração de 3 g/L, os resultados de turbidez foram próximos em relação a concentração de coagulante, porém a concentração de extrato de Acácia Negra com maior remoção de turbidez foi 0,5 % (v/v). Para o efluente com 6 g/L de óleo de girassol, os resultados de turbidez apresentaram formação de picos para concentração de 2,5 % (v/v) de extrato de Acácia Negra. Os picos podem ser atribuídos a uma interação entre as variáveis de concentração de efluente, coagulante e velocidade de agitação. Os melhores resultados de turbidez foram atribuídos para concentrações de 1 % (v/v) de extrato de Acácia Negra. Em estudos semelhantes foi observado que são concentrações menores de coagulantes proporcionam melhores resultados de clarificação. Beltrán-Heredia et al. (2012) encontraram percentuais de clarificação de águas residuais próximas a 80 % utilizando um coagulante a base de Acácia Negra em concentração de 0,3 %, o processo de agitação foi padronizado a 30 rpm por 1 hora.

No estudo de Oladoja (2015), o extrato de Acácia Negra foi testado em soluções de dodecil benzeno sulfonato de sódio e obtiveram cerca de 80 % de clarificação utilizando concentrações de extrato de 300 mg/L. Avaliou ainda que a clarificação utilizando o coagulante oriundo de Acácia Negra sofre influência mínima em relação ao pH e a temperatura.

Portanto, para os efluentes emulsionados com adição de óleo de soja, nas próximas etapas foi utilizado 0,5 % de extrato de Acácia Negra tanto para a concentração de 3 g/L como para 6 g/L. Para o efluente emulsionado com adição de óleo de girassol nas concentrações de 3 g/L e 6 g/L, utilizou-se 0,5 % e 1,0 % de coagulante, respectivamente.

### 3.3 Influências das velocidades de agitação rápida e lenta na remoção da turbidez dos efluentes emulsionados

De posse das melhores concentrações de coagulante, fez-se os testes de verificação das velocidades de agitação rápida e lenta, do processo de coagulação. Na Tabela 2 encontram-se os resultados de turbidez e parâmetros de velocidades para todos os experimentos do DCCR.

Tabela 2- Médias dos resultados de turbidez para os efluentes com 3 g/L de óleo de soja, 6 g/L de óleo de soja, 3 g/L de óleo de girassol e 6 g/L de óleo de girassol após o tratamento com extrato de Acácia Negra como coagulante.

Experi- mento	VR* (rpm)	VL* (rpm)	Turbidez (NTU) ± Desvio Padrão			
			Óleo de soja		Óleo de girassol	
			3 g/L**	6 g/L**	3 g/L**	6 g/L***
E1	100	80	164 ± 4	157 ± 11	130 ± 31	119 ± 8

E2	100	120	154 ± 12	143 ± 12	116 ± 15	99 ± 12
E3	200	80	136 ± 4	131 ± 14	102 ± 8	92 ± 17
E4	200	120	125 ± 8	202 ± 10	100 ± 4	125 ± 17
E5	80	100	126 ± 17	206 ± 34	89 ± 22	117 ± 19
E6	221	100	113 ± 4	177 ± 10	108 ± 3	119 ± 7
E7	150	73	112 ± 9	178 ± 4	102 ± 5	114 ± 11
E8	150	128	114 ± 9	164 ± 12	98 ± 15	110 ± 21
E9	150	100	121 ± 1	123 ± 7	86 ± 8	87 ± 11
E10	150	100	105 ± 12	105 ± 15	72 ± 9	74 ± 10
Turbidez inicial do efluente (média)						
=			173 NTU	199 NTU	172 NTU	165 NTU

\* VR significa Velocidade de Agitação Rápida e VL significa Velocidade de Agitação Lenta.  
 \*\*Experimentos com adição de 0,5 % (v/v) de coagulante. \*\*\* Experimento com adição de 1,0 % de coagulante.

Verifica-se que para os experimentos com adição de óleo de soja (3 g/L e 6 g/L), a média mínima obtida de turbidez foi 105 NTU para o experimento E10, com remoções desta turbidez de 61 % e 53 %, respectivamente.

Muthuraman e Sasikala (2013) realizaram um estudo utilizando três coagulantes naturais: *Moringa oleifera*, *Phaseolus vulgaris* e *Strychnos potatorum*, sendo os extratos utilizados a uma concentração de 250 mg/L em efluente sintético de águas de captação para tratamento de potabilidade de água, com parâmetros de agitação de 100 rpm por 4 minutos e 40 rpm por 25 minutos. Para uma turbidez inicial de 250 NTU o extrato coagulante com maior percentual de clarificação foi o oriundo de *Moringa oleifera* atingindo 91,2 % de clarificação. Para os outros extratos o menor percentual de clarificação foi para *Phaseolus vulgaris* atingindo 72,8 % de clarificação.

Antov et al. (2012), obtiveram um percentual próximo a 50 % de clarificação, utilizando parâmetros de agitação rápida de 200 rpm por 1 minuto e agitação lenta de 60 rpm por 30 minutos, para extrato de semente de feijão como coagulante.

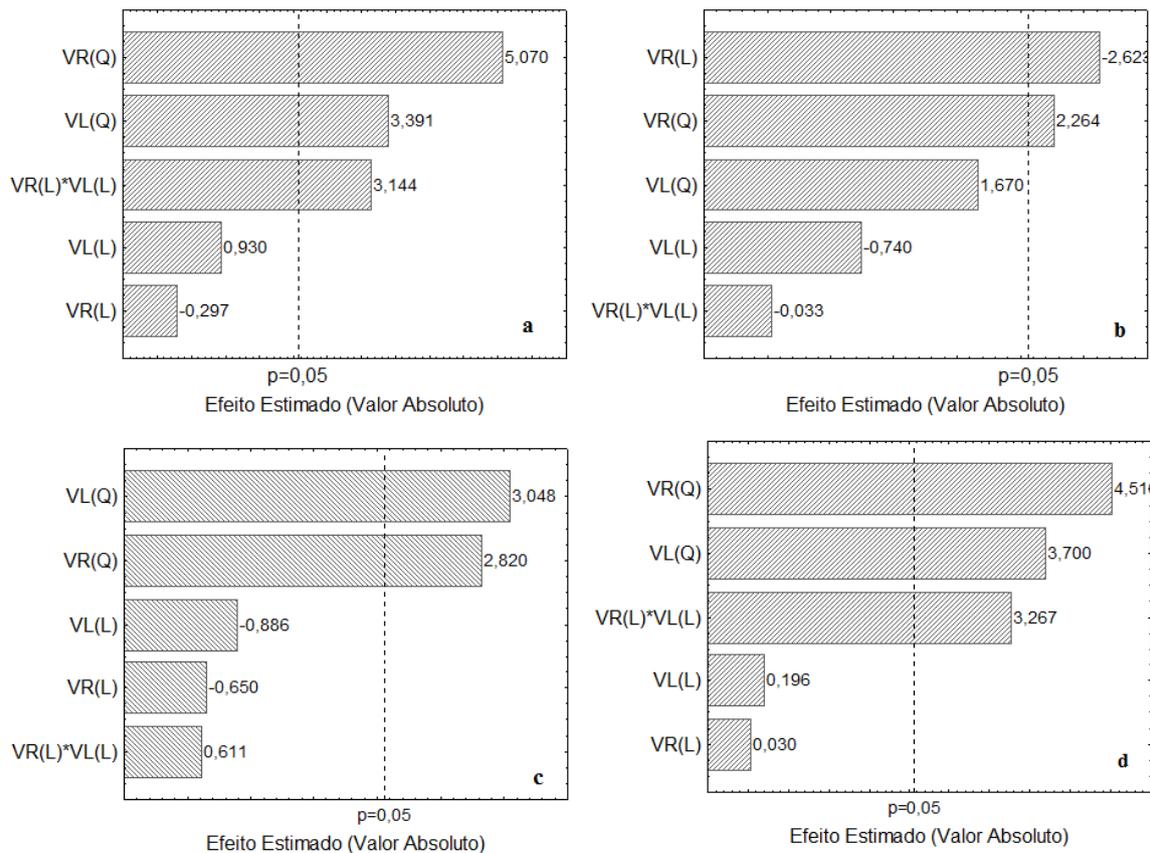
Existe a possibilidade de melhoramento do desempenho das unidades de floculação quando o gradiente de velocidade é escalonado em sentido decrescente. Esta hipótese baseia-se no fato de que no início da floculação, as partículas encontram-se bastante dispersas na água, de modo que devem ser empregados valores de gradiente de velocidade relativamente altos para aumentar as hipóteses de contato das partículas previamente desestabilizadas, para que assim se formem os flocos. Contudo, à medida que ocorre a floculação, há necessidade de reduzir o gradiente de velocidade para evitar a ruptura excessiva dos flocos que vão se formando (Bratby, 1981; Di Bernardo, 1993).

Para verificar a influência das variáveis (velocidade de agitação rápida - VR e velocidade de agitação lenta - VL) na coagulação e separação das fases do efluente emulsionado, efetuou-se a análise estatística dos resultados. A Figura 3 mostra os Diagramas de Pareto obtidos, correspondentes aos efluentes sintéticos com 3 g/L de óleo de soja (Figura 3a) e 6 g/L de óleo de soja (Figura 3b), 3 g/L de óleo de girassol (Figura 3c) e 6 g/L de óleo de girassol (Figura 3d).

Para o efluente sintético com adição de 3 g/L de óleo de soja e extrato de *Acacia mearnsii de Wild* como coagulante (Figura 3a), verifica-se que a variável que exerceu efeito significativo foi VR (termo Linear e Quadrático). O efeito linear desta variável foi significativo negativo, indicando que a passagem do nível -1 para +1 do planejamento é benéfico para o

processo, já que se deseja um menor valor de turbidez nos efluentes. O aumento da velocidade de agitação rápida é prejudicial ao processo.

Para o efluente com adição de 6 g/L de óleo de soja e extrato de *Acacia mearnsii* de Wild. como coagulante (Figura 3b), tanto (VR) como (VL) apresentaram efeito significativo positivo para os termos quadráticos, não apresentando efeito nos termos lineares, impossibilitando, portanto, uma análise individual das variáveis. Ocorrendo o mesmo comportamento para os Diagramas de Pareto obtidos para o efluente com adição de 3 g/L de óleo de girassol (Figura 3c) e com adição de 6 g/L de óleo de girassol (Figura 3d). Ainda, verifica-se nas Figuras 3b e 3d, que o termo de interação entre as variáveis (VR(L)\*VL(L)) apresentou efeito significativo positivo, o que pode indicar que as duas variáveis isoladas apresentaram efeito significativo negativo (como ocorrido na Figura 3a).



**Figura 3:** Diagramas de Pareto obtidos a partir dos resultados de turbidez da fase aquosa para o efluentes com 3 g/L de óleo de soja (a), 6 g/L de óleo de soja (b), 3 g/L de óleo de girassol (c) e 6 g/L de óleo de girassol após o tratamento com extrato de Acácia Negra como coagulante.

A partir dos resultados experimentais da turbidez na fase aquosa, calcularam-se os coeficientes de regressão, determinados com nível de 95 % de significância ( $R^2=0,984$ ). Os modelos matemáticos que representam o processo de tratamento dos efluentes com adição de 3 g/L de óleo de soja, 6 g/L de óleo de soja, 3 g/L de óleo de girassol e 6 g/L de óleo de girassol, utilizando o extrato de *Acacia mearnsii* de Wild. como coagulante, são mostrados nas Equações 1 a 4, respectivamente. Os termos em negrito significam os termos que exerceram efeito significativo.

$$T(VR, VL) = 457,2102 - 1,4724 * VR - 4,273 * VL + 0,0043 * VR^2 + 0,0208 * VL^2 - 0,0002 * VR * VL$$

(Equação 1)

$$T(VR, VL) = 1261,774 - 5,992 * VR - 14,118 * VL + 0,013 * VR^2 + 0,056 * VL^2 - 0,021 * VR * VL$$

(Equação 2)

$$T(VR, VL) = 641,3200 - 1,9492 * VR - 8,110 * VL + 0,0053 * VR^2 + 0,0374 * VL^2 - 0,0031 * VR * VL$$

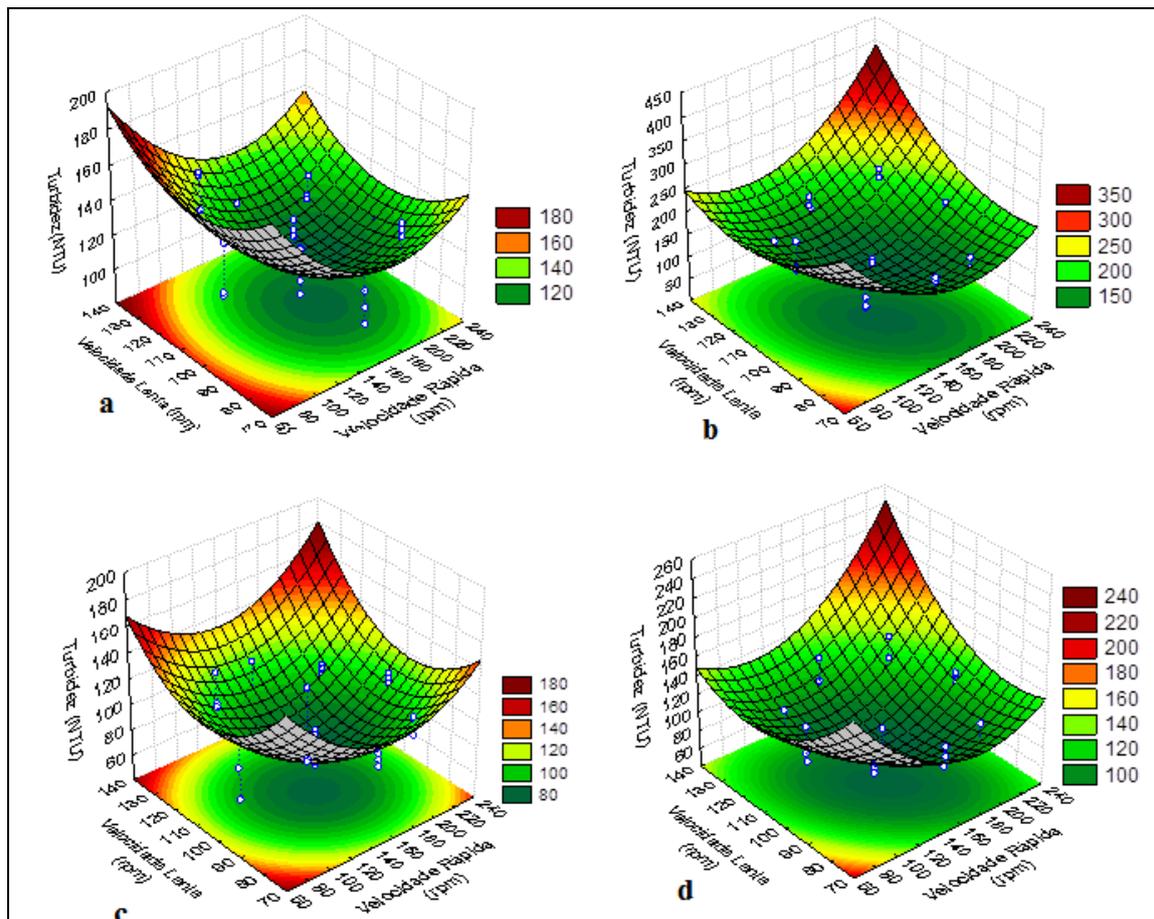
(Equação 3)

$$T(VR, VL) = 791,0690 - 3,3541 * VR - 9,2041 * VL + 0,0068 * VR^2 + 0,0363 * VL^2 - 0,0132 * VR * VL$$

(Equação 4)

Em que: T (VR, VL) é a turbidez (NTU) que é em função de VR e VL; VR é a velocidade de agitação rápida (rpm); VL é a velocidade de agitação lenta (rpm).

Os modelos matemáticos apresentados nas Equações 1 a 4 permitiram a construção das Superfícies de Resposta correspondentes ao tratamento dos efluentes sintéticos contendo óleo de soja ou óleo de girassol, mostradas na Figura 4.



**Figura 4:** Superfícies de Resposta obtidas a partir dos resultados de turbidez da fase aquosa dos efluentes com 3 g/L de óleo de soja (a), 6 g/L de óleo de soja (b), 3 g/L de óleo de girassol (c) e 6 g/L de óleo de girassol após o tratamento com extrato de Acácia Negra como coagulante.

Observa-se que a região de maximização da eficiência do tratamento, ou seja, a região onde se atingem os menores valores de turbidez (região em verde mais escuro) estão no ponto central do planejamento experimental, porém, umas mais amplas do que outras, como por exemplo, quando compara-se a Figura 4a com a Figura 4d. Analisando-se individualmente as Figuras, verifica-se na Figura 4a, que representa o processo com uso de efluente sintético com 3 g/L de óleo de soja, que a região de menor turbidez está entre os valores de velocidade agitação rápida de 150 e 200 rpm. Já para a velocidade de agitação lenta, verifica-se que a região em verde ocorre desde 80 rpm até 128 rpm, ou seja, toda a faixa testada, o que é justificado devido esta variável não ter exercido efeito sobre o processo de tratamento.

Para o efluente com 6 g/L de óleo de soja e extrato 0,5 % (v/v) de Acácia Negra como coagulante (Figura 4b), observa-se que a região de menor turbidez fica no ponto central, com velocidades de agitação lenta e rápida de 100 rpm e 150 rpm, respectivamente.

Ao avaliar os efluentes oriundos de óleo de girassol, observa-se um menor valor de turbidez após o tratamento comparados aos efluentes com obtidos com óleo de soja. Para o efluente com 3 g/L (Figura 4c), a região de menor turbidez encontra-se também no ponto central, como ocorrido para os efluentes de óleo de soja, com velocidades de agitação rápida e lenta de 150 rpm e 100 rpm, respectivamente. Na Figura 4d, cuja Superfície de Resposta representa o processo com o efluente de 6g/L de óleo de girassol, a região de verde mais intenso também está no ponto central.

Portanto, para todos os efluentes, de acordo com as superfícies de resposta, os parâmetros operacionais mais indicados para o tratamento com 0,5% (v/v) de extrato de Acácia Negra são 150 rpm para a velocidade de agitação rápida e 100 rpm para a velocidade de agitação lenta.

Beltrán-Heredia et al. (2010) relataram em estudo da otimização de clarificação de efluentes têxteis com uso de coagulante oriundo de Acácia Negra, que os ensaios utilizando extrato de Acácia Negra obtiveram resultados de clarificação bem mais elevados do que utilizando sais de alumínio como agente coagulante. Choy et al. (2014), avaliam dentre vários coagulantes naturais, como o tanino extraído de Acácia Negra um dos coagulantes com maior potencial de clarificação, e extremamente vantajoso devido sua facilidade de obtenção por extração.

#### **4. Conclusão**

O extrato de Acácia Negra apresentou-se como uma boa alternativa no tratamento de efluentes oleosos, promovendo a quebra das emulsões e uma clarificação de aproximadamente 50 %, utilizando concentrações de 0,5 % a 1,0 % do coagulante tendo variações de acordo com a origem do óleo presente no efluente bem com sua concentração. Os parâmetros de velocidade de agitação foram ajustados de modo que o sistema obteve o melhor desempenho de clarificação, avaliada estatisticamente. Foi possível obter as melhores velocidades de agitação tanto rápida quanto lenta para o processo de coagulação, para emulsões com diferentes variáveis de concentração, tipo de óleo, bem como concentração de coagulante.

#### **Referências Bibliográficas**

ANTOV, M. G.; SCIBAN, M.; PRODANOVIC, J. M. 2012. Evaluation of the efficiency of natural coagulant obtained by ultrafiltration of common bean seed extract in water turbidity removal. *Ecological Engineering*, 49:48-52.

ASRAFUZZAMAN, M.; FAKHRUDDIN, A. N. M.; HOSSAIN, M. A. 2011. Reduction of turbidity of water using locally available natural coagulants. *ISRN Microbiology*, 1-6.

BELTRÁN-HEREDIA, J.; SÁNCHEZ-MARTÍN, J.; GÓMEZ-MUÑOZ, C. 2010. New coagulant agents from tannin extracts: Preliminary optimization studies. *Chemical Engineering Journal* 162(3):1019-1025.

BELTRÁN-HEREDIA, J.; SÁNCHEZ-MARTÍN, J.; GÓMEZ-MUÑOZ, C. 2012. Performance and characterization of a new tannin-based coagulant. *Applied Water Science*, 2(3):199-208.

BRATBY, J. 2006. *Coagulation and flocculation in water and wastewater treatment*. 2 ed. IWA Publishing, 480p.

BRATBY, J.R. 1981. Interpreting laboratory results for the design of rapid mixing flocculation systems. *Journal - American Water Works Association*, 73(6):318-325.

BROCK, J.; NOGUEIRA, M. R.; ZAKRZEWSKI, C.; CORAZZA, F.C.; CORAZZA, M.; OLIVEIRA, J.V. 2008. Determinação experimental da viscosidade e condutividade térmica de óleos vegetais. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 28(3):564-570.

CHOY, S. Y.; PRASAD, K. M. N.; WU, T. Y.; RAGHUNANDAN, M. E.; RAMANAN, R. N. 2014. Utilization of plant-based natural coagulants as future alternatives towards sustainable water clarification. *Journal of Environmental Sciences*, 26(11):2178-2189.

CHOY, S. Y.; PRASAD, K. M. N.; WU, T. Y. 2015. A review on common vegetables and legumes as promising plant-based natural coagulants in water clarification. *International Journal of Environmental Science Technology*, 12:367-390.

DI BERNARDO, L. 1993. *Coagulação e Flocculação*. In: *Métodos e Técnicas de Tratamento de Água*. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro.

DOREA, C. C. 2006. Use of *Moringa* spp. seeds for coagulation: a review of a sustainable option. *Water Science and Technology: Water Supply*, 6(1):219–227.

FOUAD, Y. O. 2014. Separation of cottonseed oil from oil–water emulsions using electrocoagulation technique. *Alexandria Engineering Journal*, 53(1):199-204.

GOBBI, L. C. A. 2013. *Tratamento de água oleosa por eletrofloculação*. Dissertação (Mestrado em Energia) - Universidade Federal do Espírito Santo, 120p.

GREGORY, J. 2006. Floc formation and floc structure. In: Newcombe, G.; Dixon, D. (Org.). *Interface Science in Drinking Water Treatment*. Academic Press - 26–43.

GUIMARÃES, P.S. 2013. *Tratamento de águas residuárias oriundas da Purificação do biodiesel por coagulação empregando sulfato de alumínio e quitosana: Avaliação preliminar*. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Universidade de Brasília, 78p.

MARTINEZ et al. 2002. Simultaneous metal adsorption on tannin resins. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 251(3):467-471.

MARTINS-CORDER, M. P.; BORGES, R. Z.; BORGES JUNIOR, N. 1999. Fotoperiodismo e quebra de dormência em sementes de *Acácia-negra* (*Acacia mearnsii* de Wild.). *Ciência Florestal*, Santa Maria, 9(1):71-77.

MHAISALKAR V. A.; PARAMASIVAM R.; BHOLE A. G. 1991. Optimizing physical parameters of rapid mix design for coagulation flocculation of turbid waters, *Water Research*, 25(1):43–52.

MUTHURAMAN, G.; SASIKALA, S. 2014. Removal of turbidity from drinking water using natural coagulants. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20(4):1727–1731.

NASR, F. A.; DOMA, H. S.; EL. S. A. 2007. Chemical industry wastewater treatment. *Environmentalist*, 27(2):275-286.

OLADOJA, N. 2015. Headway on natural polymeric coagulants in water and wastewater treatment operations. *Journal of Water Process Engineering*, 6, 174–192.

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

ROSSINI M.; GARRIDO J. G.; GALLUZZO M. 1999. Optimization of the coagulation-flocculation treatment: influence of rapid mix parameters, *Water Research*, 33(8):1817–1826.

SÁNCHEZ-MARTÍN J.; BELTRÁN-HEREDIA J.; DÁVILA-ACEDO M.A. 2011. Optimum Coagulant from *Acacia mearnsii* de Wild for Wastewater Treatment. *Chemical Engineering Technology*, 34(12): 2069–2076.

SANTOS., F. S.; OLIVEIRA, S. M.; YOKOYAMA, L.; CAMMAROTA, M. C.; VENEU, D. M. 2014. Avaliação da eficiência do processo de coagulação/floculação aplicado ao tratamento primário de efluente da indústria petroquímica. *Engevista*, 16(4):404-413.

SCHONS, E. M. 2008. Desestabilização de emulsões visando à redução do teor de óleo em água. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) - Universidade Federal de Ouro Preto, 168p.

SILVA, E. M. S.; SILVA, A. C.; RIBEIRO, A. S.; CRUZ, S. H. 2014. Uso do quiabo (*Abelmoschus Esculentus*) como floculante na desestabilização de emulsões óleo/água. *HOLOS*, 3: 256-263.

SNIF. Sistema Nacional de informações florestais. Brasília (DF): As Florestas plantadas. 2015. Disponível em < <http://www.florestal.gov.br/snif/recursos-florestais/as-florestas-plantadas>>. Acesso em: 15 ago. 2015.

STATSOFT, INC.; Statistica 10.0, St. Tulsa, OK, USA

YIN, C-Y. 2010. Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. *Process Biochemistry*, 45(9):1437–1444.

ZOUBOULIS A.I.; AVRANAS A. 2000. Treatment of oil-in-water emulsions by coagulation and dissolved-air flotation. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 172: 153–16