

## AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE DIFERENTES AGENTES COAGULANTES NA REMOÇÃO DE COR E TURBIDEZ EM EFLUENTE DE GALVANOPLASTIA

Luiz Gustavo de Lima Vaz<sup>1</sup>, Márcia Regina Fagundes Klen<sup>1</sup>, Márcia Teresinha Veit<sup>1</sup>, Edson Antonio da Silva<sup>1</sup>, Tatiany Aparecida Barbiero<sup>1</sup>, Rosângela Bergamasco<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE) - Centro de Engenharias e Ciências Exatas - Engenharia Química - Toledo - PR

<sup>2</sup>Universidade Estadual de Maringá (UEM) - Departamento de Engenharia Química - Maringá - PR  
luizgustavovaz@gmail.com

---

**Resumo:** Neste trabalho avaliou-se a eficiência de diferentes agentes coagulantes no processo de coagulação/floculação no tratamento de efluente de uma indústria de galvanoplastia. Foram avaliados coagulantes do tipo inorgânico (cloreto férrico e sulfato de alumínio) e orgânico (quitosana e sementes de moringa, Tanfloc SG e Acquapol C1). Os parâmetros avaliados foram cor e turbidez. Os testes foram realizados em Jar-Test, utilizando uma velocidade de 120 rpm e um tempo de 1,5 min para a mistura rápida e 20 rpm e 15 min para a mistura lenta. O agente coagulante quitosana apresentou-se como mais promissor para a remoção de cor e turbidez em efluentes de galvanoplastia, removendo 97,76% de cor e 98,06% de turbidez, para a concentração de 7 ppm e tempo de sedimentação de 20 min.

**Palavras-chave:** coagulação / floculação, galvanoplastia, cor e turbidez.

---

### Introdução

Nas últimas décadas houve um grande crescimento industrial que trouxe também aumento no volume de resíduos gerados, os quais quando não corretamente dispostos ou tratados, podem causar sérios problemas de contaminação ambiental [1].

A indústria da galvanoplastia se apresenta como uma fonte geradora de efluentes contendo metais pesados (cromo, cobre, zinco, níquel, cádmio, chumbo), uma vez que emprega em seus processos de eletrodeposição uma variedade de soluções metálicas e um volume considerável de águas de lavagem que, dependendo do porte da indústria, situa-se entre 250 e 2.000 L/h, havendo instalações em que esta quantidade ultrapassa os 10.000 L/h [2]. Em relação à vazão dos efluentes, esta varia consideravelmente, dependendo do tamanho das seções de

galvanização, havendo relatos desde 8 até 1500 m<sup>3</sup>/dia [3].

Os processos de galvanização geram graves problemas de poluição nos ecossistemas aquáticos devido os seus despejos conterem metais pesados, que acima de determinadas concentrações podem ser tóxicos ao ambiente e ao ser humano. Apresentam ainda grande quantidade de materiais dissolvidos e suspensos, ocasionando altos valores de cor e turbidez, respectivamente.

A determinação da turbidez permite evidenciar alterações na água. A água que possui turbidez faz com que as partículas em suspensão reflitam a luz, fazendo com que a esta não chegue aos organismos aquáticos. Para Santos [4] alguns vírus e bactérias podem se alojar nas partículas em suspensão, se protegendo da ação de desinfetantes, passando a turbidez a ser considerada também sob o ponto de vista sanitário.

A cor nas águas pode suprimir os processos fotossintéticos nos cursos d'águas [1]. De forma geral a cor nas águas pode resultar dos processos de decomposição da matéria orgânica, da presença de íons metálicos naturais como o ferro e o manganês, bem como do lançamento de diversos tipos de despejos industriais. Até recentemente não eram associados inconvenientes sanitários à presença de cor na água, porém com a comprovação no final da década de setenta que os materiais dissolvidos, causadores da cor, são precursores de substâncias potencialmente carcinogênicas, atenção crescente passou a ser dispensada à sua remoção [5].

O tratamento de efluentes de galvanoplastia vem sendo estudado por alguns autores, os quais propõem diferentes processos para o tratamento de efluentes do processo de galvanização, como a precipitação química [6], processos de adsorção por materiais adsorventes não convencionais [7,8] e adsorventes convencionais [4].

Simas [6] estudou o tratamento dos efluentes gerados pelo processo de zincagem cianídrica objetivando a remoção de cianeto do efluente. O autor utilizou a precipitação química com sulfato de zinco, obtendo uma remoção de 94,57% do cianeto presente no efluente. Santos [4] utilizou resinas de troca iônica para remoção e recuperação de cobre em efluente de galvanoplastia, os resultados obtidos pelo autor demonstrou que as resinas catiônicas apresentaram maior remoção de cobre (superior a 95 % em massa). Já Pereira [7] avaliou dois materiais alternativos, bagaço de cana-de-açúcar e serragem da madeira Parajú (*Manilkara* sp.), em sistema batelada e coluna de leito fixo na adsorção de zinco em efluente real de galvanoplastia, em que a capacidade máxima de adsorção foi obtida pela serragem modificada com anidrido succínico (7,4 mmol/g). Santos [8] investigou a utilização do adsorvente natural escamas da pinha da *Araucaria angustifolia*, na remoção de metais pesados do processo de galvanoplastia. O adsorvente estudado mostrou-se eficiente na remoção de cromo hexavalente, cromo trivalente e ferro total nas soluções sintéticas e no efluente real, removendo 99% do cromo hexavalente do efluente real em 1 hora de contato com o adsorvente. Brasaola Júnior e Carrara [9] estudaram o tratamento das águas residuárias geradas nos enxáguas das peças em processos de galvanoplastia do zinco, níquel-cromo e fosfatização, por meio de tratamento físico-químico de coagulação/floculação em jar-test utilizando como agente coagulante o

cloreto férrico. As menores concentrações de metais presentes nas amostras tratadas após realização dos ensaios em jar-test foram obtidas com a utilização de 30 mg/L de cloreto férrico, em pH igual a 10 e tempo de sedimentação igual a 60 minutos, removendo 98,97% de turbidez.

Geralmente a primeira etapa do tratamento de efluentes contendo metais pesados é a coagulação química a qual, provavelmente, influencia significativamente as etapas de tratamento subsequentes. Dada a importância deste processo de separação é fundamental estudos do comportamento dos agentes coagulantes nesta etapa. Existem vários tipos de coagulantes de origem química e vegetal. Os principais coagulantes químicos utilizados são: sulfato de alumínio, cloreto férrico, hidroxicloreto de alumínio e sulfato férrico [10]. Alguns de origem vegetal estão sendo investigados mais intensamente que outros, como é o caso da *Moringa oleifera* Lam [11] e da Quitosana [12]. Os coagulantes de origem orgânica naturais ou sintetizados, conhecidos universalmente como polieletrólitos, constituídos de grandes cadeias moleculares, são dotadas de sítios com cargas positivas ou negativas, podendo na presença da água, se transformar em coagulantes catiônicos ou aniônicos, dependendo do saldo das cargas elétricas, se positivo ou negativo [13].

O processo de coagulação/floculação tem por finalidade a remoção de substâncias coloidais, ou seja, material sólido em suspensão (cor) e/ou dissolvido (turbidez). Essa operação normalmente é considerada como um pré-tratamento que objetiva o condicionamento do despejo para o tratamento subsequente.

Cardoso [14] diz que os termos coagulação e floculação são utilizados como sinônimos, uma vez que ambos significam o processo integral de aglomeração das partículas. Sendo a coagulação, o processo através do qual o agente coagulante adicionado à água, reduz as forças que tendem a manter separadas as superfícies em suspensão, e a floculação é a aglomeração dessas partículas por meio de transporte de fluido, formando partículas maiores que possam sedimentar.

A coagulação anula as forças de repulsão entre as partículas coloidais, por meio de mecanismos de ligação e adsorção na superfície da partícula coloidal, pela adição de agentes químicos, denominados de eletrólitos [15]. Segundo Di Bernardo e Dantas [16] para que o processo de coagulação seja eficiente, este deve ser realizado por meio de agitação intensa (mistura rápida) para que ocorram interações entre o coagulante e a água (efluente).

A floculação das partículas já coaguladas pela ação do eletrólito resulta das várias forças de atração que atuam entre as partículas “neutralizadas” que se agregam umas às outras formando os denominados flocos. A velocidade de formação desses flocos depende, no início da agitação térmica (movimento Browniano) e, ao atingirem um tamanho de cerca de 0,1 mm, depende também da agitação mecânica do meio. Evidentemente, essa agitação mecânica deve ser em nível moderado (mistura lenta), pois, do contrário, poderá provocar a desagregação dos flocos já formados, o que dificultará a sua remoção [15].

O processo de coagulação/floculação com posterior sedimentação propicia a remoção de cor e turbidez do efluente a ser tratado.

Os sais de alumínio são agentes inorgânicos não biodegradáveis que acrescentam elementos químicos à água ou ao lodo. Como principal dificuldade do processo destaca-se o lodo inorgânico gerado, de difícil manuseio por parte das empresas em função de seu volume e do elevado teor de umidade [17].

Os sais de ferro são, também, muito utilizados como agentes coagulantes para tratamento de água. Reagem de forma a neutralizar cargas negativas dos colóides e proporcionam a formação de hidróxidos insolúveis de ferro. Devido à baixa solubilidade dos hidróxidos férricos formados, eles podem agir sobre ampla faixa de pH [10].

Sais de alumínio e ferro são ambientalmente indesejáveis, pois os lodos produzidos podem disponibilizar íons solúveis que comprometem a saúde humana. É necessário, portanto, buscar coagulantes ambientalmente mais compatíveis [11].

Em geral os estudos utilizando biopolímeros são aplicados ao tratamento de águas para fins potáveis, assim, há lacunas sobre o conhecimento acerca de sua aplicação, em especial os de origem vegetal, no tratamento de diferentes águas residuárias industriais [11].

Vários estudos utilizando a solução da semente de *Moringa oleifera* têm mostrado que suas sementes possuem propriedades coagulantes efetivas e que elas não são tóxicas a humanos e animais [18; 19], sendo bastante eficientes no condicionamento do lodo [18]. Quando comparada com coagulantes químicos, a *Moringa oleifera* apresenta uma série de vantagens, dentre elas: não requer ajustes de pH e alcalinidade, não causa problemas de corrosão, de baixo custo, não altera o pH da água e produz baixo volume de lodo [12].

A quitosana é um produto natural, de baixo custo, renovável e biodegradável, de grande impor-

tância econômica e ambiental. Geralmente é obtida a partir da quitina, extraídas das carcaças de crustáceos. É um biopolímero do tipo polissacarídeo, possui uma estrutura molecular quimicamente similar à fibra vegetal (celulose), diferenciando-se somente nos grupos funcionais. A quitosana é solúvel em meio ácido diluído e forma um polímero catiônico.

Os agentes coagulantes Tanfloc SG (Tanac) e Acquapol C1 (Acqua Química) são polímeros orgânico/catiônico obtidos por meio de um processo de lixiviação da casca da Acácia negra (*Acácia mearnsii de wild*), constituído basicamente por tanato quartenário de amônio [21;22].

O lodo gerado pelos coagulantes orgânicos não possui sais de alumínio e ferro incorporado, portanto, é biodegradável o que possibilita sua compostagem e disposição final. Outras vantagens dos biopolímeros são a redução da quantidade de lodo e a sua maior amenidade à desidratação. Ao contrário do lodo gelatinoso e volumoso oriundo do uso do sulfato de alumínio. Além disso, os flocos resultantes da coagulação com sulfato de alumínio são essencialmente de natureza inorgânica, portanto, o lodo não entra em decomposição biológica [23].

Mesmo que o custo dos biopolímeros catiônicos seja maior que o custo dos sais de alumínio e ferro, as reduzidas dosagens requeridas diminuem o custo, próximos aos dos coagulantes químicos.

Desta forma o presente trabalho teve por objetivo avaliar seis agentes coagulantes/floculantes (quitosana, sementes de moringa, Tanfloc SG, Acquapol C1, cloreto férrico e sulfato de alumínio) e determinar a faixa de dosagem ótima de cada coagulante no processo de coagulação/floculação, bem como o tempo ideal de sedimentação no tratamento primário de um efluente de galvanoplastia.

## Materiais e Métodos

### Materiais

No presente trabalho foram utilizados coagulantes químicos: sulfato de alumínio ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot (14-18)\text{H}_2\text{O}$  - Vetec) e cloreto férrico ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  - Vetec) e coagulantes orgânicos: quitosana em pó (Polymar), sementes de moringa *Oleifera Lam* (cedidas pela UFPP), Tanfloc SG (Tanac) e Acquapol C1 (Acqua Química). Para correção do pH foi utilizado hidróxido de sódio (NaOH - Vetec).

## Caracterização do efluente

Foi realizada uma coleta do efluente proveniente de uma indústria de galvanização localizada na região oeste do Paraná. As atividades desenvolvidas nesta indústria são: estanhagem, niquelagem, cromagem e cobreação, sendo as águas de lavagem provenientes destes tratamentos de superfícies destinados num único tanque de tratamento. Após a coleta foi realizada a caracterização do efluente, segundo cor (mg PtCo/L), turbidez (NTU) e pH, os quais foram medidos em Espectrofotômetro Hach DR 2010, Turbidímetro Hach 2100 P e pHmetro digital Digimed DM-22, respectivamente.

## Testes de precipitação

Foram realizados testes de precipitação variando o pH inicial do efluente até 12, com intervalo de 0,5 pela adição de solução de NaOH de concentração 0,1 N. Amostras do efluente foram dispostas em béqueres de 100 mL e foi ajustado o pH do efluente. Este ensaio teve como finalidade identificar o pH em que se inicia a precipitação de metais e outros compostos do efluente.

## Ensaio de coagulação/floculação

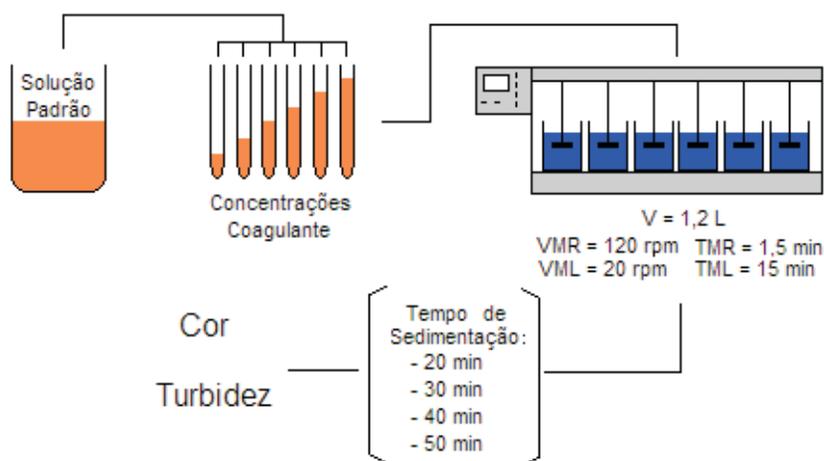
Foram realizados ensaios de coagulação/floculação num equipamento Jar-Test Microcontrolado marca Milan, Modelo JT-103 para avaliar a eficiência de cada coagulante, como ilustrado na Figura 1.

Foram analisados coagulantes do tipo inorgânico (sulfato de alumínio e cloreto férrico) e orgânico (quitosana, sementes de *Moringa oleifera* Lam, Tanfloc SG e Acquapol C1) no processo de coagulação/floculação.

Os ensaios de coagulação/floculação foram realizados a fim de determinar a faixa de dosagem de trabalho para cada coagulante estudado, bem como o tempo ótimo de sedimentação. A dosagem das concentrações dos coagulantes (sulfato de alumínio, cloreto férrico, quitosana, moringa e Tanfloc SG) são apresentados na Tabela 1. Estes valores foram estabelecidos com base na literatura [9,11,14,21,24]. Para o coagulante Acquapol C1 optou-se por trabalhar na mesma faixa de concentração do Tanfloc SG, pois ambos são oriundos do mesmo extrato vegetal.

Em cada cuba do Jar-Test foram adicionados 1,2 L do efluente de galvanoplastia variando as concentrações de cada coagulante, conforme apresentado na Tabela 1. As velocidades de mistura rápida (VMR) e lenta (VML) empregadas foram 120 rpm e 20 rpm, respectivamente. Os tempos de mistura rápida (TMR) e lenta (TML) foram 1,5 min e 15 min, respectivamente [9,14,24,25]. Os ensaios foram realizados no pH da solução efluente na temperatura ambiente.

Os intervalos de tempos de sedimentação foram: 20, 30, 40 e 50 min. Foram coletadas cerca de 50 mL do sobrenadante e foram analisados os parâmetros: cor (mg Pt/Co) e turbidez (NTU) em Espectrofotômetro Hach DR 2010 e Turbidímetro Hach 2100 P, respectivamente.



**Figura 1.** Aparato experimental utilizado nos ensaios de coagulação/floculação.

**Tabela 1.** Concentração de cada coagulante avaliado.

Coagulante	Concentrações (ppm)					
<b>Sulfato de Alumínio</b>	10	20	30	40	50	60
<b>Cloreto Férrico</b>	10	20	30	40	50	60
<b>Quitosana</b>	5	6	7	8	9	10
<b>Moringa</b>	100	200	300	400	500	600
<b>Tanfloc SG</b>	100	200	300	400	500	600
<b>Acquapol C1</b>	100	200	300	400	500	600

## Resultados e Discussão

Neste trabalho foram realizados estudos para otimizar a dosagem dos coagulantes sulfato de alumínio, cloreto férrico, quitosana, sementes de moringa, Tanfloc SG e Acquapol C1 nas condições de mistura rápida e lenta no tratamento de efluente de galvanoplastia onde se verificou a estrutura do floco, tamanho e sua formação e decantação.

### Caracterização do efluente

Na Tabela 2 são apresentadas as características das águas de lavagem do efluente de galvanoplastia empregado nos ensaios de coagulação/floculação em Jar-Test. Os parâmetros cor e turbidez do efluente foram elevados, portanto, o efluente deve ser submetido a um tratamento antes do seu descarte.

**Tabela 2.** Características das águas de lavagem do efluente de galvanoplastia.

Parâmetro	Cor (mg PtCo/L)	Turbidez (NTU)	pH
	1608,00	264,80	6,45

### Testes de precipitação

Os resultados do teste de precipitação demonstraram que após o ajuste do pH inicial do efluente (6,45) para 7,00 houve a formação de precipitado. O pH é um parâmetro importante no processo de coagulação/floculação uma vez que

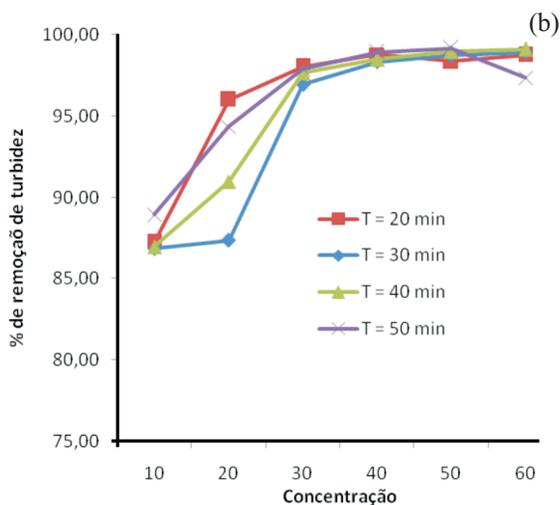
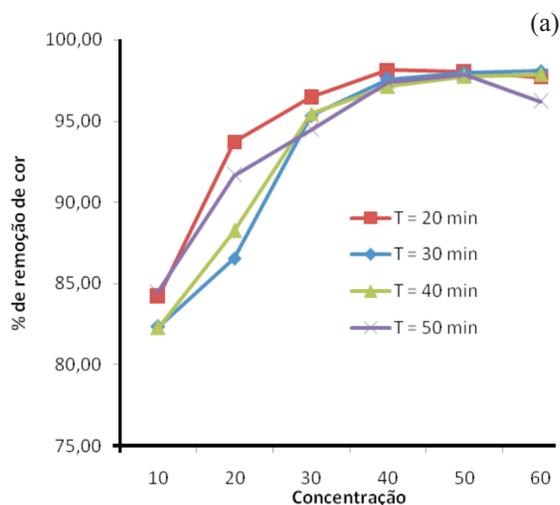
cada coagulante tem uma faixa ótima de operação. Em pH superior ao do efluente a remoção da cor ocorre também devido a precipitação, como o foco deste trabalho é avaliar o processo de coagulação/floculação optou-se em trabalhar no pH do efluente bruto. Além disso, o valor de pH do efluente se enquadra na faixa de operação requerida para cada coagulante estudado [14,17,21,22,26].

### Ensaio de coagulação/floculação

Foram medidos os valores de turbidez e cor das amostras tratadas, após os tempos de sedimentação pré-estabelecidos (20, 30, 40 e 50 min). Os resultados para remoção de cor e turbidez obtidos para cada coagulante são apresentados nas Figuras (3-8), respectivamente.

Para o coagulante inorgânico sulfato de alumínio (Figura 2), os maiores valores na remoção de cor (98,13%) e turbidez (98,78%) foram obtidos empregando a concentração de 40 ppm no tempo de sedimentação de 20 min.

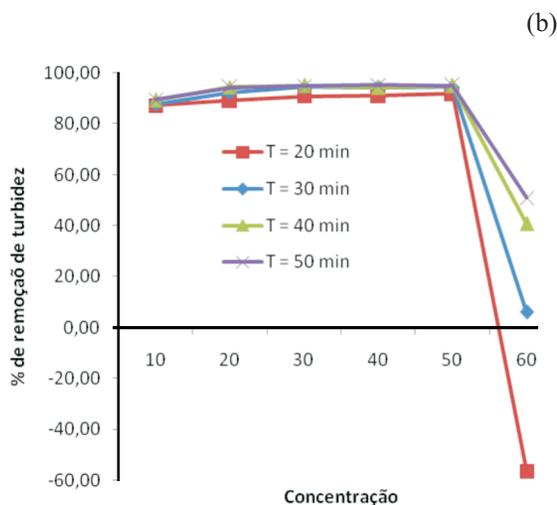
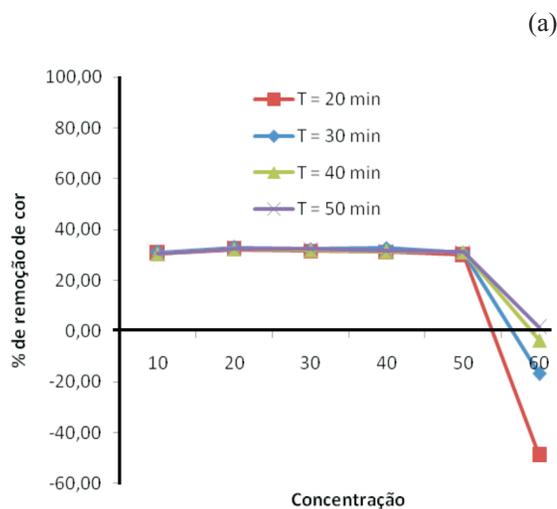
Ndabigengesere e Sivasankara Pillai [27] realizaram ensaios utilizando o sulfato de alumínio como coagulante em água sintética com turbidez modelo preparada a partir do composto caolin. Os autores verificaram uma turbidez residual de 90% na concentração de 50 mg/L de sulfato de alumínio. Já Da Silva *et al.* [28] avaliando diferentes agentes coagulantes como alternativa de tratamento físico-químico para remoção de cor e turbidez em efluentes bruto e tratado de uma estação de tratamento de esgoto, obteve remoção de 59% de cor e 56% de turbidez, utilizando sulfato de alumínio na concentração de 20 mg/L no tratamento de esgoto bruto e 22% de cor e 38% de turbidez para o esgoto tratado nas mesmas condições, em tempo de sedimentação



**Figura 2.** Porcentagem de remoção de cor (a) e turbidez (b) utilizando o coagulante sulfato de alumínio.

de 3 horas. Mesmo se tratando de efluentes diferentes, os resultados obtidos no presente trabalho, utilizando o coagulante sulfato de alumínio, são melhores dos que os encontrados pelos outros autores.

Utilizando o coagulante inorgânico cloreto férrico, observa-se que a maior remoção de cor e turbidez ocorreu no tempo de sedimentação de 50 min, sendo de 31,57% e 95,27%, respectivamente, na concentração de 40 ppm, como mostra a Figura 3.



**Figura 3.** Porcentagem de remoção de cor (a) e turbidez (b) utilizando o coagulante cloreto férrico.

A concentração de 30 ppm no tempo de 30 min de sedimentação se torna atrativa, uma vez que se tem menor custo de material coagulante, com praticamente a mesma faixa de remoção (cor: 32,30% e turbidez: 94,63%). Acima da concentração de 50 ppm do coagulante cloreto férrico, há uma diminuição nos valores de remoção de cor e turbidez. Quando o cloreto férrico é adicionado em excesso ao meio, parte não participa da reação de coagulação/floculação, ficando este em solução há o

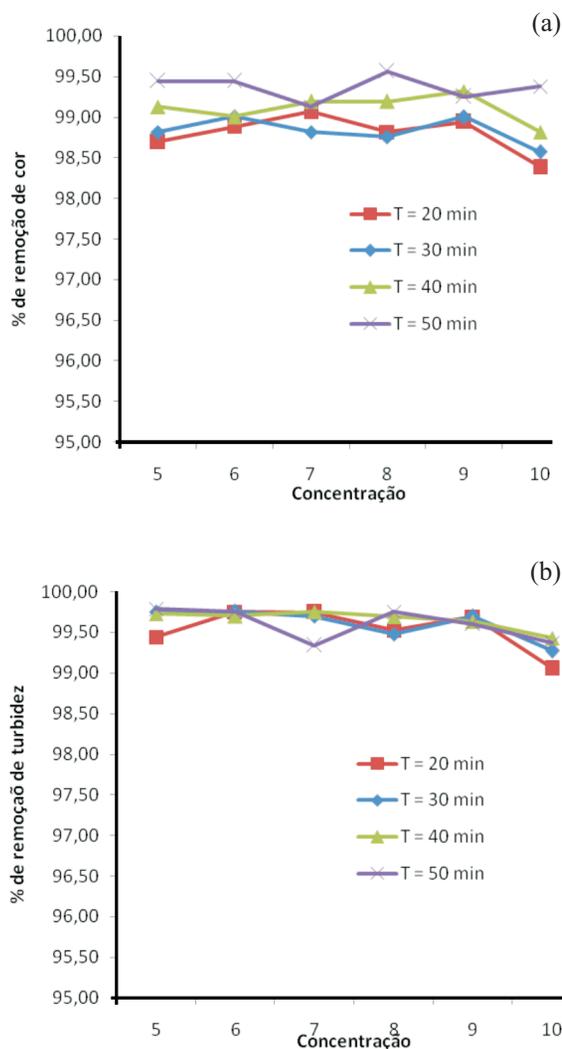
aumento dos valores dos parâmetros cor e turbidez. Segundo Branco [29], a presença de ferro pode propiciar uma coloração amarelada e turva à água dependendo dos níveis de concentração. Pelos resultados obtidos, o cloreto férrico não se mostrou um agente promissor para a remoção de cor no tratamento de efluente de galvanoplastia. Os autores Bresaola Júnior e Carrara e Da Silva *et al.* [9,25] investigaram a eficiência e remoção de turbidez empregando o cloreto férrico no tratamento de efluentes de galvanoplastia e esgoto sanitário, respectivamente. A eficiência de remoção de turbidez para [9] foi de 98,97% na concentração de 30 ppm do coagulante, pH igual a 10 e 60 min de sedimentação, já [25] removeu 96% de turbidez na concentração de 200 ppm em um tempo de sedimentação de 30 min. Pelos resultados obtidos neste trabalho e os encontrados pelos autores apresentados anteriormente, o cloreto férrico somente mostrou-se eficiente na remoção de turbidez, não sendo, portanto indicado para tratamento de efluente de galvanoplastia.

Na Figura 4, observa-se que o coagulante orgânico quitosana apresenta a maior eficiência de remoção de cor (99,44%) e turbidez (99,79%) para a concentração de 5 ppm e tempo de sedimentação de 50 min.

Em termos de custos e eficiência de remoção de cor e turbidez, o tempo de sedimentação de 20 min nas mesmas condições de operação mostra-se atrativa, pois apresentam valores muito próximos aos obtidos para o tempo de 50 min de sedimentação (Cor: 98,68% e Turbidez: 99,44%). Da Silva *et al.* [11] estudaram a aplicação do mesmo coagulante no tratamento de efluente de indústria têxtil e obtiveram uma remoção de cor e turbidez de 86% e 85%, respectivamente, nas condições de 4 ppm de coagulante, pH igual a 8,8 e 3 h de sedimentação. Embora o efluente utilizado no presente trabalho (galvanoplastia) seja diferente do empregado por [11] obteve-se uma porcentagem de remoção de cor e turbidez maior em um tempo de sedimentação relativamente curto (20 min) e sem prévio ajuste de pH.

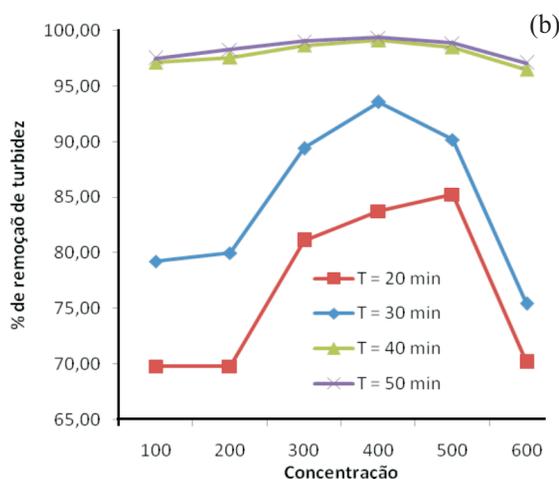
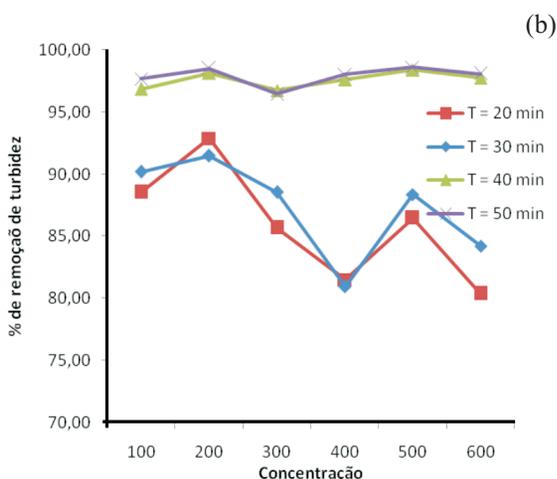
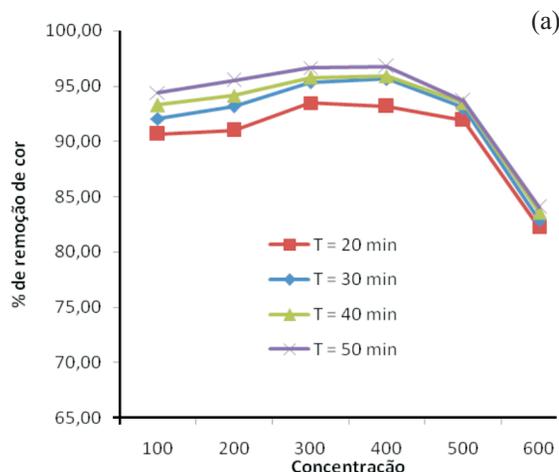
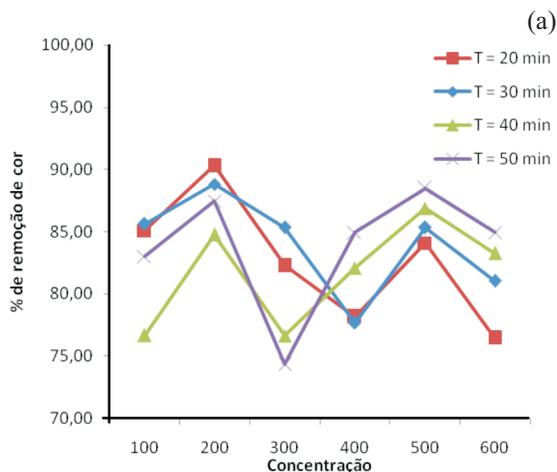
Na Figura 5 são apresentadas as porcentagens de remoção de cor e turbidez em tempos de sedimentação distintos utilizando o coagulante/floculante sementes de *Moringa oleifera* Lam em diferentes concentrações.

Conforme a Figura 5, a máxima remoção dos parâmetros cor e turbidez, em termos de minimização de custos, foram de 90,30% e 92,90%, respectivamente, para concentração de 200 ppm e tempo de



**Figura 4.** Porcentagem de remoção de cor (a) e turbidez (b) utilizando o coagulante quitosana.

sedimentação de 20 min. Borba [13] estudou a aplicação de sementes de moringa no tratamento de água do Rio Taperoá, coletada em São João do Cariri, obtendo uma remoção de 96,20% de cor e turbidez, nas condições de 200 ppm de coagulante, pH igual a 7,2 e 2 h de sedimentação, obtendo resultados de remoção semelhantes ao deste trabalho, porém o tempo de sedimentação encontrado por [13] foi maior. Estes dois estudos indicam que o coagulante natural *Moringa oleifera* Lam tem grande potencial de aplicação como coagulante para diversos tipos de efluentes.



**Figura 5.** Porcentagem de remoção de cor (a) e turbidez (b) utilizando o coagulante *Moringa Oleifera* Lam.

**Figura 6.** Porcentagem de remoção de cor (a) e turbidez (b) utilizando o coagulante Tanfloc SG.

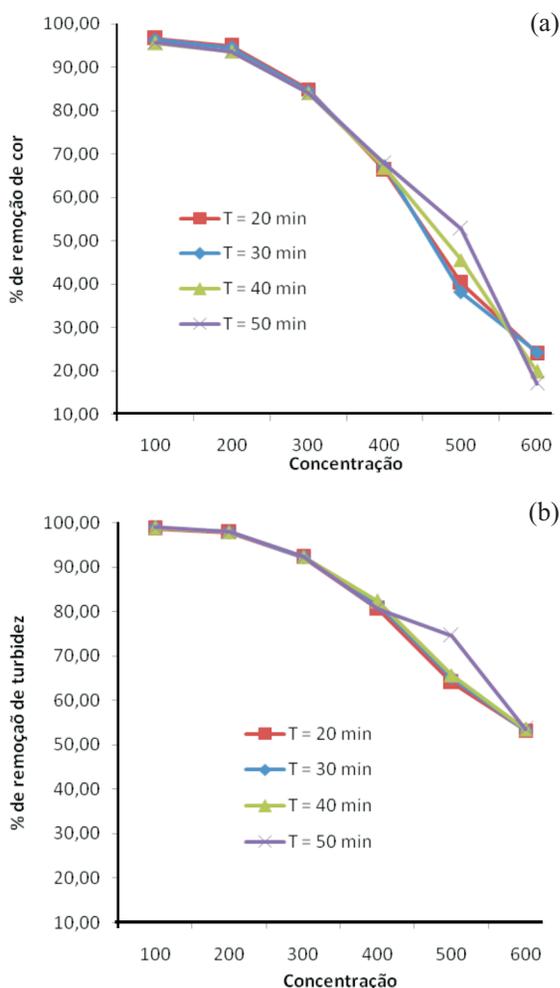
Os resultados obtidos para o coagulante comercial vegetal Tanfloc SG (Tanac) são apresentados na Figura 6.

A melhor condição para a remoção de cor (96,77%) e turbidez (99,38%) correspondeu à concentração de 400 ppm, no tempo de 50 min de sedimentação. Utilizando o tempo de sedimentação de 40 min não houve uma grande variação na remoção de cor (95,90%) e turbidez (99,13%). Cruz *et al.*[17] utilizaram o coagulante comercial Tanfloc na remoção de turbidez de um efluente de uma lavanderia industrial e obtiveram uma remoção de

95,80%, na concentração de 166 ppm, em um pH igual a 9,3 e 2 h de sedimentação. Apesar dos valores de remoção de turbidez apresentarem valores similares ao de [17], neste trabalho o tempo de sedimentação foi menor, além de não haver a necessidade de prévia correção do pH do efluente.

Na Figura 7 são apresentadas as porcentagens de remoção de cor e turbidez em tempos de sedimentação distintos utilizando o coagulante/floculante Acquapol C1 em diferentes concentrações.

Para o coagulante Acquapol C1 (Figura 7), como a remoção de cor e turbidez na concentração de



**Figura 7.** Porcentagem de remoção de cor (a) e turbidez (b) utilizando o coagulante Acquapol C1.

100 ppm foi semelhante em todos os tempos de sedimentação analisados, o tempo de sedimentação de 20 min é mais atrativo em termos de redução de custos, removendo 96,69% de cor e 98,72% de turbidez. Observa-se também que acima da concentração de 100 ppm há uma diminuição na remoção de cor e turbidez, provavelmente, em virtude do coagulante estar fora da faixa de atuação. O agente coagulante/floculante comercial Acquapol C1, obtido do mesmo extrato vegetal (Acácia Negra) do Tanfloc SG, pode ser considerado promissor para o tratamento de efluentes de galvanização.

O processo de coagulação/floculação no tratamento do efluente de galvanoplastia foi eficiente para os coagulantes testados, com exceção do cloreto férrico, o qual não apresentou uma boa remoção de cor.

Na Tabela 3 são apresentadas a melhor concentração de trabalho para cada coagulante estudado, a maior remoção de cor e turbidez obtida pelo coagulante, bem como o tempo de sedimentação ótimo de trabalho após a realização dos ensaios.

### Conclusão

Os coagulantes testados mostraram-se eficientes na remoção da cor e turbidez do efluente de galvanoplastia, exceto para o cloreto férrico que não apresentou uma boa remoção de cor.

Dentre os agentes coagulantes/floculantes testados para a remoção de cor e turbidez do efluente de galvanoplastia, a quitosana com baixas concentrações, obteve elevadas eficiências, mostrando-se um agente coagulante/floculante mais promissor para o tratamento deste tipo de efluente.

**Tabela 3.** Maior porcentagem de remoção de cor e turbidez, melhor concentração de trabalho e tempo de sedimentação de cada agente coagulante/floculante.

Coagulante	% remoção de cor	% remoção de turbidez	Concentração (ppm)	Tempo de sedimentação (min)
Sulfato de alumínio	98,13	98,78	40	20
Cloreto férrico	32,30	94,63	30	30
Quitosana	98,68	99,44	5	20
Moringa	90,30	92,90	200	20
Tanfloc SG	95,90	99,13	400	40
Acquapol C1	96,69	98,72	100	20

**Abstract:** In this work it was evaluated the efficiency of different coagulants agents in the process of coagulation/flocculation in the treatment of effluent from an electroplating industry. The following coagulants were evaluated: inorganic (ferric chloride and aluminum sulfate) and organic (chitosan and seeds of moringa, Tanfloc SG and Acquapol C1). The parameters evaluated were color and turbidity. The experiments were carried out in Jar-Test using a speed of 120 rpm and a time of 1.5 min for fast mixture and 20 rpm and 15 min for the slow mixture. The chitosan coagulant agent presented as more promising for the removal of color and turbidity in effluents from electroplating, removing 97.76% to 98.06% of color and turbidity, respectively for the concentration of 7 ppm and the sedimentation time of 20 min.

**Keywords:** coagulation/flocculation, electroplating, color and turbidity.

## Referências

- [1] M. R. A. da Silva, M. C. de Oliveira, R. F. P. Nogueira, *Eclética Química* 29 (2004) 19.
- [2] P. M. Braile, J. E. W. A., Cavalcanti, 1993, *Manual de Tratamento de Águas Residuárias Industriais*, CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, São Paulo, Brasil.
- [3] M. T. Veit, Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Maringá, Maringá - PR (2006).
- [4] F. A. Santos, Tese de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS (2007).
- [5] F. C. T. Leal, M. Libânio, *Eng. Sanitária e Ambiental* 7 (2002) 117.
- [6] R. Simas, Tese de Mestrado, Universidade Federal do Paraná - UFPR, Curitiba - PR (2007).
- [7] F. V. Pereira, Tese de Mestrado, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto – MG (2008).
- [8] K. C. R. Santos, Tese de Mestrado, Universidade Estadual do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro – RJ (2008).
- [9] R. Bresaola Júnior, S. M. C. M. Carrara, XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, Porto Alegre (2000).
- [10] G. Pavanelli, Tese de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos – SP (2001).
- [11] F. J. A. Da Silva, L. M. M. Souza, S. L. Magalhães, XXII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Joinville – SC (2003).
- [12] L. C. J. Moraes, R. Bergamasco, C. R. G. Tavares, R. M. Ribeiro, XXIII Congresso Brasileiro de Engenharia e Sanitária Ambiental, Campo Grande – MS (2005).
- [13] R. L. Borba, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Paraíba (2001).
- [14] C. K. Cardoso, Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Maringá – PR (2007).
- [15] CPRH, Companhia Pernambucana do Meio Ambiente, Roteiro Complementar de Licenciamento e Fiscalização: Tipologia Galvanoplastia. Recife – PE (2001).
- [16] L. Di Bernardo, A. D. B. Dantas, *Métodos e Técnicas de Tratamento de Água*. 2ª ed., v. 1. São Carlos: Rima. (2005).
- [17] J. G. H. Cruz, J. C. S. S. Menezes, J. Rubio, I. A. H. Schneider, XXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande – MS (2005).
- [18] A. Ndabigengesere, S. Narasiah, B. G. Talbot, *Water Research*, 29 (1995) 703.
- [19] S. A. Muyibi, L. M. Evison, *Water Resources*, 29 (1995) 2689.
- [20] K. A. Ghebremichael, PhD thesis, Stockholm: Department of Land and Water Resources Engineering (2004).
- [21] Tanac. *Boletim Informativo*. Montenegro – RS. Brasil (2008).
- [22] *Acqua Química*. *Boletim Informativo*. Estância Velha – RS. Brasil. (2008).
- [23] J. D. Santos Filho, E. S. Santa Rita, Monografia de Especialização, Universidade Federal da Bahia – Escola Politécnica (2002).
- [24] V. Fiorentini, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria - RS (2005).
- [25] M. E. R. da Silva, M. D. Aquino, A. B. dos Santos, *Rev. Tecnol. Fortaleza*, 28 (2007) 178.
- [26] R. Divakaran, V. N. Sivasankara Pillai, *Water Research*, 36 (2002) 2414.
- [27] A. Ndabigengesere, S. Narasiah, *Water Research*, 32 (1998) 781.
- [28] F. J. A. Da Silva, J. W. S. Neto, F. S. B. Mota, G. P. Santos, XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, João Pessoa – PB (2001).