

**Agentes tanino e químico na coagulação e floculação de lixiviado de aterro sanitário**

**Roselene Maria Schneider**

Professora Doutora, UFMT, Brasil.  
roselenems@yahoo.com.br

**Bruno Rodrigues dos Santos**

Professor Mestre, FASIFE, Brasil.  
brunorodriguessantos@hotmail.com

**Adriana Garcia do Amaral**

Professora Doutora, UFMT, Brasil.  
adrianagamara@gmail.com

**Milene Carvalho Bongiovani**

Professora Doutora, UFMT, Brasil.  
milene.bongiovani@gmail.com

**Ednaldo Antônio Andrade**

Professor Mestre, UFMT, Brasil.  
ednaldosnp@gmail.com

## RESUMO

Efluentes gerados em aterros sanitários são de difícil tratamento e exigem distintas formas de tratamento para atingirem o polimento necessário ao descarte. O lixiviado normalmente é tratado em lagoas de estabilização que possuem remoções significativas de poluentes, contudo podem não ser suficiente para descarte. Com isso, teve-se por objetivo avaliar a aplicabilidade do coagulante natural Tanfloc SG e do coagulante químico PAC, com a adição do polímero aniônico auxiliar de floculação (PA), nos processos de coagulação/floculação como pós-tratamento de efluente de aterro sanitário. Os testes foram realizados em *jar test*, em dosagens de coagulantes variando de 0 – 1.250 mg L<sup>-1</sup> e valores de pH variando de 5 – 9, em três tempos de decantação. Os resultados encontrados mostram que tanto o Tanfloc SG quanto o PAC são eficientes na clarificação do efluente, porém, atuando, em geral, de forma ótima em distintos valores de dosagem dos coagulantes e pH. A dosagem do polímero utilizada não gerou melhorias importantes nas variações das variáveis estudadas, porém, em alguns experimentos demonstrou ampliar a faixa de remoções em relação a algumas variáveis. Conclui-se que o coagulante PAC foi eficiente na remoção de sólidos suspensos, dissolvidos e coloidais e substâncias húmicas, e o Tanfloc SG atuou principalmente na remoção de sólidos.

**Palavras-chave:** Efluentes. Coagulante. Floculante. Remoção de poluentes. Resíduos.

## 1. INTRODUÇÃO

A disposição de resíduos sólidos pode ser um sério problema ambiental dependendo da forma como acontece. A disposição em locais inadequados, como em lixões, causa degradação e poluição direta do meio ambiente que recebe os resíduos (RABONI *et al.*, 2013). A destinação em aterros sanitários reduz os riscos de contaminação direta, porém, a liberação de gases e chorume devem ser controladas (KORF *et al.*, 2008).

A formação do lixiviado (chorume) é complexa, estando relacionada a diversos fatores, tais como a origem dos resíduos e sua composição; o clima local; a forma do aterro e sua operação e a idade. O lixiviado demanda, assim como outros efluentes, de tratamento antes do despejo em recursos hídricos (MORAVIA *et al.*, 2011).

O tratamento de efluentes constitui-se de operação importante, visto que é dele que dependerá a remoção dos contaminantes. Como os contaminantes apresentam características físicas, químicas e biológicas distintas, diferentes tratamentos devem ser empregados aos efluentes para que estes atinjam qualidade para disposição em corpos hídricos (FELICI *et al.*, 2013; LIMA *et al.*, 2015; MOODY; TOWNSEND, 2016).

Em geral, o tratamento de efluentes que apresentam matéria orgânica ocorre por processos biológicos, como por exemplo as lagoas de estabilização. Estas podem alcançar elevadas remoções de matéria orgânica biodegradável, no entanto, não removem os materiais orgânicos recalcitrantes, que na sua grande maioria são substâncias húmicas, responsáveis pela cor do efluente (SPERLING, 2006; VIVAN *et al.*, 2009).

Assim, dependendo das concentrações e da presença de outros poluentes, há a necessidade de tratamentos complementares alternativos, como o processo de coagulação/floculação (YUSOFF *et al.*, 2018; YONG *et al.*, 2018; PEDROSO *et al.*, 2012; KAWAHIGASHI, 2014; VELIZ *et al.*, 2015). O processo físico-químico baseado na coagulação/floculação e posterior decantação tem como principal função remover os sólidos suspensos e dissolvidos, sólidos estes de difícil remoção em efluentes como o lixiviado de aterro sanitário (PEDROSO *et al.*, 2012).

Diversos são os parâmetros que podem afetar o processo de coagulação/floculação.

Além da natureza do efluente, o tipo de coagulante e a dosagem destes, velocidades de mistura rápida e lenta, o valor do pH do efluente e o tempo de decantação são fatores importantes no processo (IBRAHIM; YASER, 2019; QUEIROZ et al., 2011; KUMAR; VERMA, 2016).

Os coagulantes podem ser produtos químicos ou naturais. Os coagulantes químicos como o sulfato de alumínio, sulfato ferroso, sulfato férrico, cloreto férrico, sulfato ferroso clorado, aluminato de sódio e o policloreto de alumínio (PAC) são os mais utilizados devido a sua comprovada eficiência e baixo custo. Coagulantes naturais como a Moringa oleifera Lam, Tanfloc e Quitosana têm sido fontes de muitos estudos no sentido de verificar a viabilidade de utilização e reduzir o consumo de produtos químicos (CHOWDHURY et al., 2013).

O coagulante químico PAC tem ampla aplicação no Brasil, sendo utilizado no tratamento de águas de abastecimento e efluentes. Os coagulantes naturais também podem ser utilizados em tratamento de águas e efluentes. O coagulante Tanfloc SG é um polímero catiônico de baixo peso molecular, atuando nos processos de coagulação e floculação. Sua principal vantagem em relação aos coagulantes químicos está na produção de lodo biodegradável, que devido a sua composição orgânica, pode ser biologicamente degradado ou eliminado termicamente, o que beneficia a destinação do produto final (PEDROSO et al., 2012).

Além do coagulante, a presença de auxiliares de floculação pode alterar as condições e a efetividade do processo de coagulação/floculação, pois o polímero auxiliar de floculação permite aumentar o tamanho dos flocos e assim aumentar a velocidade de decantação desses (CASTRO et al., 2012).

Dessa forma, teve-se como objetivo neste trabalho a avaliação do processo de coagulação/floculação de lixiviado previamente tratado em lagos de estabilização, em função do tipo de coagulante, dosagens de coagulantes, pH inicial do efluente e tempos de decantação.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 Efluente**

O efluente (lixiviado) utilizado nos testes de coagulação/floculação foi coletado no aterro sanitário localizado no município de Sorriso, MT. O lixiviado foi coletado na saída da lagoa facultativa, após passar por tratamento em lagoa anaeróbia e facultativa.

A caracterização do lixiviado foi realizada em laboratório, por meio da determinação dos parâmetros pH, absorvância em UV254nm (abs UV), cor, turbidez, demanda química de oxigênio (DQO), condutividade elétrica, sólidos suspensos totais (SST), nitrogênio Kjeldhal total e fósforo total. Todos os procedimentos analíticos seguiram os estabelecidos pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012).

### **2.2 Testes de coagulação/floculação**

Os testes de coagulação/floculação/decantação foram realizados em diferentes valores de pH (5, 7 e 9), sendo seu ajuste realizado utilizando ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) concentrado ou hidróxido de sódio (NaOH) 1 N.

Os coagulantes utilizados nos testes foram o policloreto de alumínio (PAC), coagulante químico, e o Tanfloc SG, coagulante natural. Como floculante foi utilizado o polímero aniônico, PA 0823, denominado como PA. O coagulante PAC foi fornecido pela empresa de saneamento do Paraná (SANEPAR) e o coagulante Tanfloc SG e o polímero aniônico pela empresa TANAC (Montenegro, Rio Grande do Sul). Estes coagulantes e coagulantes+PA foram definidos nos testes como quatro tipos de tratamentos: PAC, Tanfloc SG, PAC+PA e Tanfloc SG+PA.

O coagulante PAC foi preparado em solução 1% v/v e o coagulante Tanfloc SG foi preparado em solução 0,5% m/v. As dosagens de coagulante utilizadas nos testes foram 0, 50, 150, 300, 500, 750, 1.000 e 1.250 mg L<sup>-1</sup>.

O polímero aniônico, utilizado como floculante, foi preparado em solução 0,1% m/v e dosagem de 1,0 mg L<sup>-1</sup>.

Os testes de coagulação/floculação/decantação foram realizados em escala de bancada, utilizando o equipamento jar test com amostras de 0,25 L.

Os ensaios experimentais foram realizados com as seguintes condições de operação: tempo de mistura rápida (TMR) de 2 minutos, velocidade de mistura rápida (VMR) de 100 rpm, tempo de mistura lenta (TML) de 20 minutos e velocidade de mistura lenta (VML) de 20 rpm. Posteriormente, as amostras foram vertidas para cones Imhoff, com capacidade de 1 L, para decantação. Os tempos de decantação avaliados foram 20, 40 e 60 minutos. Após cada tempo de decantação, o volume do lodo decantado no cone Imhoff era medido e amostras do lixiviado tratado eram coletadas para análises de pH, turbidez, cor e abs UV.

As determinações de turbidez e pH eram realizadas em turbidímetro e pHmetro de bancada, respectivamente. As determinações de cor eram realizadas em colorímetro e as determinações de absorvância em UV254nm eram realizadas em espectrofotômetro.

### **2.3 Delineamento experimental e análise estatística**

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 8x3, sendo oito diferentes dosagens de coagulante e 3 diferentes níveis de pH, com parcela subdividida no tempo de decantação (3 tempos), aplicado em 4 combinações de coagulantes, com 3 repetições por tratamento.

Para os parâmetros pH, abs UV, cor e turbidez, a análise estatística foi realizada em função da variação desses parâmetros. Para o lodo, a análise estatística foi realizada em função do volume produzido.

Foram realizados para comparação dos resultados a análise de variância (ANOVA), e quando foram encontradas diferenças, testes de comparação de médias e análise de regressão foram realizadas, a 5% de significância. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa computacional Sisvar (FERREIRA, 2010).

### **2.4 Caracterizações do efluente - lixiviado**

As características do efluente em termos dos parâmetros pH, turbidez, cor aparente, abs UV), sólidos suspensos totais (SST), condutividade elétrica (CE), demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio total Kjeldahl (NTK) e fósforo total estão apresentadas na Tabela 1.

Apesar do valor de turbidez ser relativamente baixo, o valor da cor apresentou-se bastante alto, indicando a presença de sólidos dissolvidos e coloidais em altas concentrações. Além disso, há presença de substâncias húmicas (medida de forma indireta pelo valor de abs UV), e altas concentrações de fósforo total.

Vale reforçar que o lixiviado utilizado nos testes foi o lixiviado previamente tratado por meio de lagoas anaeróbias, facultativas e maturação, presentes na área do aterro. Ao passar pelas lagoas, parte dos sólidos em suspensão foram removidos, e a passagem pelas lagoas facultativas e de maturação promoveram o desenvolvimento de algas.

**Tabela 1: Características do lixiviado do aterro após tratamento em lagoas e limites estabelecidos pela legislação para lançamento**

Lixiviado	Limites lançamento*	Concentração máxima após mistura**				
		Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	
Turbidez (NTU)	54,2	--	40,0	100	100	---
DQO (mg L <sup>-1</sup> )	712	--	----	----	----	----
Cor (mg Pt L <sup>-1</sup> )	600 <sup>1</sup>	--	natural	75	75	----
pH	9,19	5-9	6-9	6-9	6-9	6-9
Abs. UV (cm <sup>-1</sup> )	2,165	--	----	----	----	----
CE (S m <sup>-1</sup> )	7,19	--	----	----	----	----
NTK (mg L <sup>-1</sup> )	28,84	20	0,5	1,0	1,0	----
Fósforo total (mg L <sup>-1</sup> )	1,25	--	0,1	0,050	0,15	----
SST (mg L <sup>-1</sup> )	5040	--	----	----	----	----

\*Limite de lançamento de efluentes em corpos hídricos superficiais de acordo com a Resolução CONAMA n° 430, de 2011; \*\* Limites estabelecidos em função da classe de corpos de água doce definidos na Resolução CONAMA n° 357, de 2005. <sup>1</sup>Cor aparente.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância mostrou que houve interação significativa ( $p < 0,5$ ) entre as fontes de variação pH inicial e dosagem dos coagulantes para a variação de pH, turbidez, cor e abs UV. Não houve variação dos valores destes entre os diferentes tempos de decantação (20, 40 e 60 minutos).

Para cada um dos tratamentos testados, PAC, PAC+PA, Tanfloc SG e Tanfloc SG+PA, modelos de regressão polinomial foram ajustados a cada um dos parâmetros avaliados (pH, turbidez, cor, abs UV e volume de lodo) e mostraram-se significativos e satisfatórios, e com altos coeficientes de determinação. Os coeficientes dos modelos ajustados e os coeficientes de determinação podem ser visualizados no material suplementar.

#### 3.1 Variação do pH em função do pH inicial e dosagem

Os resultados da variação de pH mostraram a dinâmica dessa variação em relação aos valores iniciais de pH e as dosagens utilizadas. Em relação ao pH inicial verificou-se que as variações foram positivas (redução do pH do efluente do início ao fim de cada experimento) para os valores iniciais de pH ácidos e básicos (próximos de 5 e 9), e variações neutras e negativas (pouca variação ou leve aumento do pH) para os valores iniciais de pH próximos ao valor neutro (7).

Para as diferentes dosagens verificou-se que com o aumento dessas houve tendência de crescimento da variação do pH, para todos os valores de pH inicial, com variações de até 20%. Em relação aos tratamentos PAC, PAC+PA, Tanfloc SG e Tanfloc SG+PA verificaram-se poucas diferenças entre esses, mesmo com a utilização do polímero.

Pequenas variações de pH são relatadas para o PAC (ZHANG et al., 2008) e para tanino (LEITE; HOFFMANN; DANIEL, 2019), pois são coagulantes de baixo e nenhum consumo de alcalinidade, respectivamente, não levando a alterações importantes de valores de pH do lixiviado.

### 3.2 Variação da turbidez, cor, abs UV e volume de lodo em função do pH inicial e dosagem

Os resultados dos experimentos foram avaliados baseando-se nos modelos de regressão ( $p < 0,05$ ) obtidos para cada parâmetro, em cada pH. Os pontos apresentados nas Figuras 1 e 2 são os dados experimentais que foram utilizados para a obtenção dos modelos.

De forma geral, remoções de partículas foram obtidas utilizando os coagulantes e o floculante (PAC, PAC+PA, Tanfloc SG e Tanfloc SG+PA), pois turbidez, cor e abs UV foram removidos. Os valores máximos de remoção variaram conforme o pH inicial e dosagem, e foram diferenciados para cada um dos coagulantes e coagulantes +PA.

Os resultados com o coagulante PAC mostram que as maiores remoções de turbidez e cor (> 90%) (Figuras 1a e 1c) e abs UV (> 50%) (Figura 1e) ocorreram quando o efluente se apresentava ácido (pH = 5) e em dosagens mais altas. Nessas mesmas condições observaram-se também os maiores volumes de lodo gerado (Figura 1g).

O pH não somente determina as cargas de superfície das moléculas de matéria orgânica natural (MON), mas afeta significativamente a hidrólise do coagulante PAC, ou seja, a interação do alumínio presente no coagulante PAC com a MON presente no efluente (Al-MON) (YANG et al., 2011), refletindo na remoção de turbidez, cor e abs UV.

Yong et al. (2018) encontraram as melhores remoções de DQO, sólidos totais e cor em pH básico utilizando o coagulante sulfato de alumínio. Segundo os autores essa remoção aconteceu devido à ação do fenômeno "sweep floc-coagulation", em que as espécies dominantes de hidróxido de alumínio amorfo ( $Al(OH)_3$ ) são normalmente formados durante a hidrólise de alumínio na água. Assim o  $Al(OH)_3$  aprisiona ou adsorve o material coloidal e cor nos hidróxidos de metal formados pela hidrólise.

Os maiores volumes de lodo produzidos para o coagulante PAC estão nas maiores dosagens dos coagulantes e nos valores de pH de neutro (pH = 7) a ácido (pH = 9), que são as condições de maior variação de abs UV, cor e turbidez (Figura 1g).

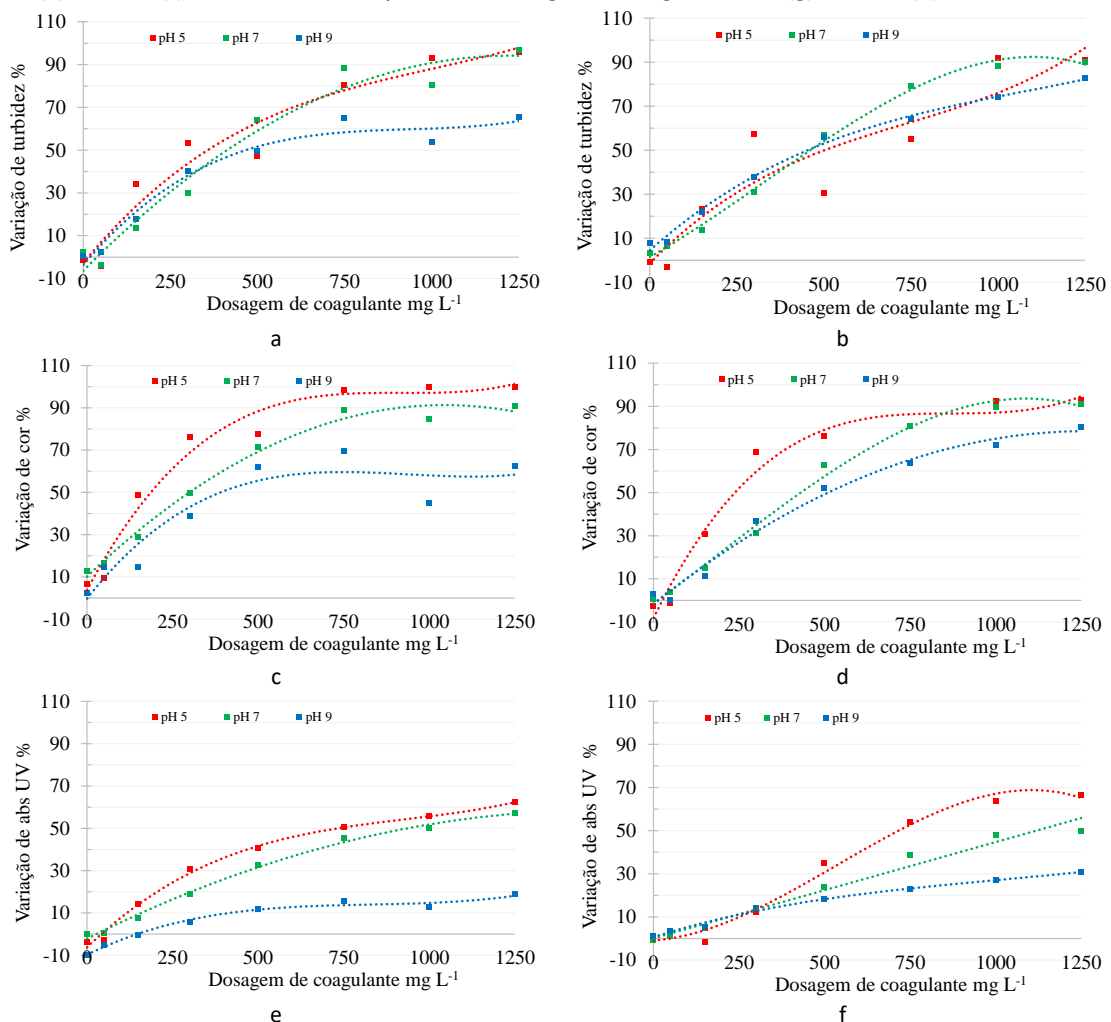
O acréscimo do polímero aniônico ao PAC (PAC+PA) (Figura 1 b-d-f-h) promoveu ampliação na remoção de turbidez, cor e abs UV em relação ao pH, ou seja, a remoção aconteceu em valores ácidos e básicos. O volume de lodo apresentou incremento em seus volumes quando o polímero foi adicionado ao coagulante PAC em pH maiores (7 e 9), corroborando com o aumento da remoção de turbidez, cor e abs UV.

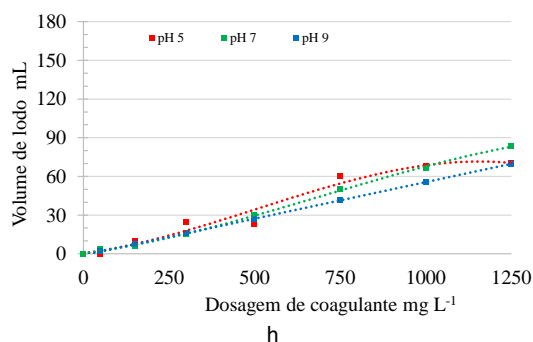
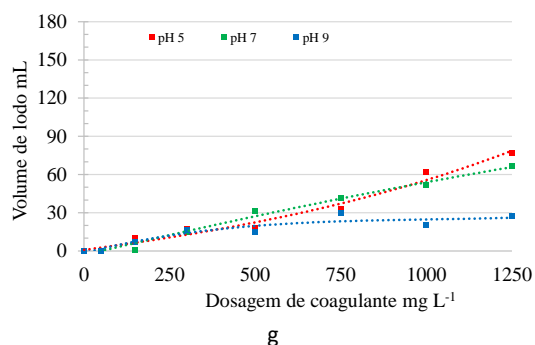
Os polímeros são elementos que contribuem para aumentar o tamanho e força de agregação das partículas, melhorando a qualidade do efluente e acelerando a decantação de

partículas (LIMA JUNIOR; ABREU, 2018). Devido ao seu alto peso molecular e, portanto, apreciável comprimento, os polímeros são capazes de formar pontes ou interconectar as partículas (LETTERMAN; YIACOUMI, 2011).

A presença do PA não causou efeito de redução da dosagem do coagulante, e tampouco reduziu o volume do lodo, pela formação de lodo mais denso. No geral, o PA foi pouco importante no processo de tratamento do lixiviado do aterro. Esse resultado pode ser devido a baixa dosagem utilizada ( $1 \text{ mg L}^{-1}$ ). Por outro lado, Lee et al. (2014) reforçam que os floculantes poliméricos devem apresentar alta capacidade de floculação mesmo em baixas dosagens, visto que são produtos não biodegradáveis.

**Figura 1: Variação de turbidez vs pH inicial e dosagem do coagulante PAC (a), PAC+PA (b). Variação da cor vs pH inicial e dosagem do coagulante PAC (c), PAC+PA (d). Variação da abs UV vs pH inicial e dosagem do coagulante PAC (e), PAC+PA (f). Volume de lodo vs pH inicial e dosagem do coagulante PAC (g), PAC+PA (h)**





Os experimentos com o coagulante Tanfloc SG mostraram resultados mais complexos quando comparados com o coagulante PAC. A remoção de poluentes orgânicos, como substâncias húmicas, é devido à habilidade dos polifenóis presentes no tanino em adsorver íons orgânicos e o efeito elétrico da dupla camada formada por grupos fenólicos, carboxílicos e aminos (BRANCH *et al.*, 2019).

As maiores remoções de turbidez (Figura 2a) foram obtidas nos valores ácidos, neutros e básicos, nas faixas de dosagem de coagulante próximas a 400, 300 e 1.000 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente. Para a cor, as maiores remoções (Figura 2c) também foram obtidas em todos os valores de pH, porém, em faixa de valor de 300 mg L<sup>-1</sup> para valores ácidos e neutros de pH, enquanto que para valores básicos de pH as melhores dosagens ficaram na faixa próxima de 1000 mg L<sup>-1</sup>. Remoções de abs UV (<30%) foram verificadas apenas em pH ácido, em dosagens próximas a 150 mg L<sup>-1</sup>.

Espera-se que o coagulante à base de tanino tenha carga positiva, que é diminuída conforme o pH aumenta, devido à desprotonação de grupos amina e hidroxila (LOPES *et al.*, 2019). Esse comportamento foi observado por Ibrahim e Yaser (2019). Os autores relataram que conforme o pH da amostra aumentou, houve decréscimo da remoção de cor do lixiviado. Possivelmente em função do decréscimo de cargas positivas do coagulante, a interação por neutralização de cargas tornou-se menor.

Por outro lado, Banch *et al.* (2019) verificaram aumento da remoção e cor e demanda química de oxigênio em valores de pH de 3 a 9. De acordo com os outros, com pH variando entre 7 e 9, a capacidade de adsorção das partículas será alta devido à carga elétrica neutra. Cátions em lixiviado podem melhorar o processo de coagulação, neutralizando e desestabilizando as cargas negativas do resíduo e dos grupos funcionais dos coagulantes pela ligação com partículas de tanino. Ainda Barrado-Moreno; Beltrán-Herédia; Martín-Gallardo (2016) verificaram que o valor de pH não foi um fator importante na eficiência de remoção de algas por tanino em valores de pH menores do que 8.

Observou-se neste trabalho que o efeito do pH se tornou menor conforme o aumento na dosagem do coagulante, tendo boas remoções de cor e turbidez em valores básicos de pH, em altas dosagens de coagulante.

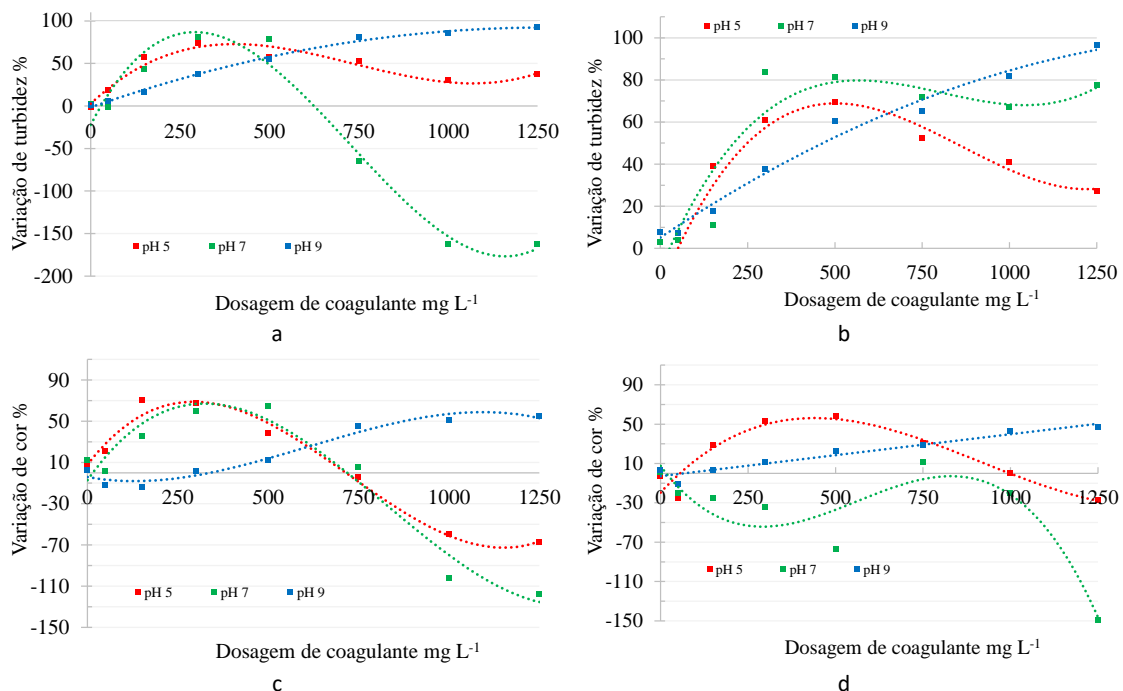
Em relação às dosagens do coagulante verificou-se que, diferentemente do observado para o PAC, aumentos nas dosagens não necessariamente levaram ao aumento das remoções.

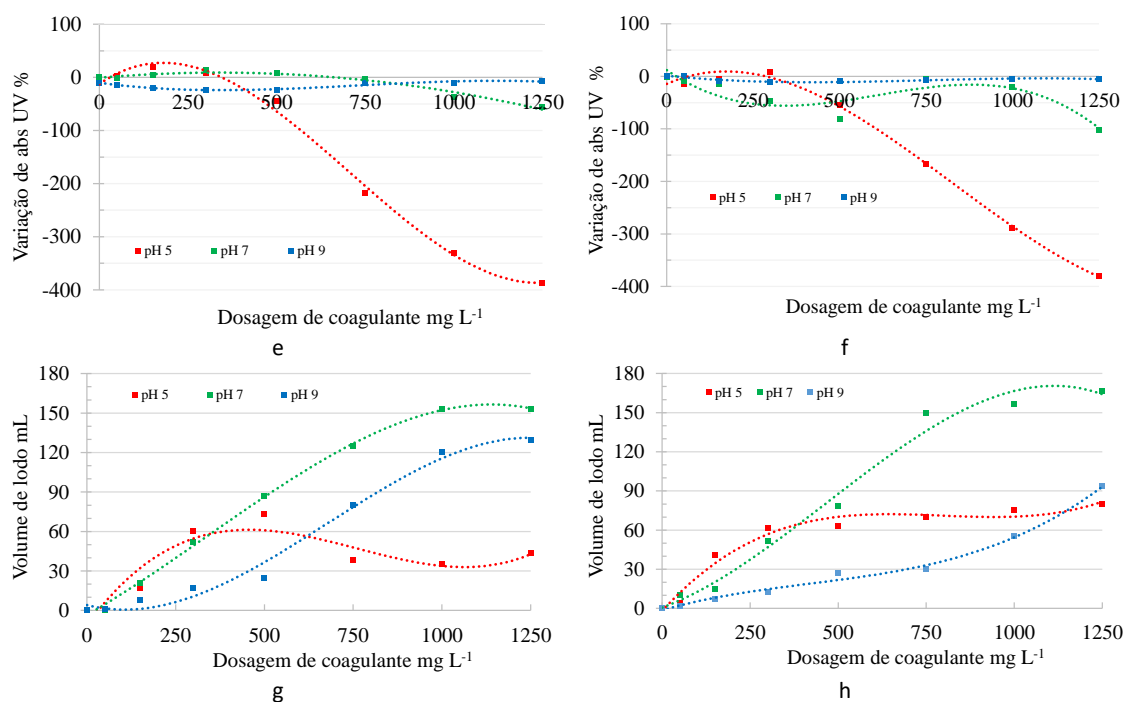


O estudo das dosagens de coagulantes mostrou o comportamento da desestabilização das partículas. Ao se atingir a dosagem ideal verificou-se que a remoção diminuiu. A razão para isso pode ser a reestabilização de partículas orgânicas quando o valor ótimo foi atingido.

Tendências de aumento e diminuição de remoção de elementos relacionados ao material orgânico após um ponto ótimo são características de processo de coagulação-floculação controlado pela neutralização de cargas (BOLTO, 1995). De acordo com Ibahim e Yaser (2019), o excesso de coagulante é adsorvido pelas partículas coloidais presentes no lixiviado. Isso leva à reversão das cargas dos colóides de negativas para positivas, e esses colóides são reestabilizados, e começaram a repelir um ao outro, causando menos aglomeração. A baixa remoção de abs UV pelo Tanfloc SG evidencia que este não foi eficiente na remoção de substâncias húmicas. Além disso, parece que altas dosagens de coagulante contribuíram com o aumento da turbidez e cor. Haamed et al. (2016) relata que ocorreu deterioração grave da remoção de DQO quando a dose de Tanfloc SG estava acima de 40 mg L<sup>-1</sup> (ponto de máxima remoção de DQO). Isso pode ser devido ao resíduo de Tanfloc SG na água que atua como poluente orgânico. Os mesmos autores ainda afirmam que o coagulante permanece como material dissolvido se não for incorporado aos sólidos por processo de floculação.

**Figura 2:** Variação da turbidez em função do pH inicial e dosagem do coagulante Tanfloc SG (a), Tanfloc SG + PA (b). Variação da cor em função do pH inicial e dosagem do coagulante Tanfloc SG (c), Tanfloc SG + PA (d). Variação da abs UV em função do pH inicial e dosagem do coagulante Tanfloc SG (e), Tanfloc SG + PA (f). Volume de lodo em função do pH inicial e dosagem do coagulante Tanfloc SG (g) e Tanfloc SG + PA (h)





Leite; Hoffmann; Daniel (2019) ao estudarem a remoção (colheita) de algas por coagulantes orgânicos verificaram que a neutralização de cargas e formação de pontes atuaram juntas na coagulação do material. A concentração de células de algas é significativa em efluentes tratados por lagoas, e a remoção dessas células promove principalmente a remoção de turbidez do efluente (Kaya; Dilek; Gökçay, 2007).

O acréscimo do polímero auxiliar de floculação ao tratamento com o Tanfloc SG não aumentou a remoção de turbidez, mas ampliou a faixa de remoção em relação ao valor de pH. Para cor a introdução do polímero reduziu as remoções em pH neutro.

Para o Tanfloc SG os volumes de lodo gerado não apresentam relação com as remoções de cor e abs UV, e apresentam alguma relação com as remoções turbidez. Além disso, os valores obtidos na produção de lodo com o coagulante Tanfloc SG são o dobro do volume comparado com o coagulante PAC, indicando que possivelmente o lodo do Tanfloc SG não é de boa sedimentabilidade comparado ao lodo do PAC.

Remoções de cor, turbidez, abs UV foram estudadas por outros autores. Ibrahim e Yaser (2019) observaram aumento da remoção de cor conforme o aumento na dosagem de coagulante a base de tanino para efluente pré-tratado em sistema biológico. Pedroso et al. (2011), em testes com Tanfloc SG como tratamento primário de lixiviado, obtiveram melhores resultados de remoção da cor aparente (96%) em pH básico (pH igual a 9) e concentração de 100 mg L<sup>-1</sup>. Esses autores ressaltam que a remoção de cor aparente aponta para uma importante remoção de compostos dissolvidos.

Pedroso et al. (2012) estudaram a aplicação de diferentes doses de Tanfloc SG em diferentes amostras de lixiviado, coletadas num período de três meses. Os autores optaram em avaliar diferentes amostras de lixiviado no tempo devido à sua composição ser extremamente

variável. Cada amostra representou os possíveis valores (altos, médios e baixos) encontrados para o lixiviado com relação aos parâmetros estudados como cor, turbidez e substâncias húmicas presentes no aterro sanitário de Maringá-PR. O lixiviado coletado era corrigido para pH igual 9 e utilizou-se dosagem de  $1.500 \text{ mg L}^{-1}$ , resultando em remoções de cor de 59,97% e de turbidez de aproximadamente 50%, resultado inferior ao encontrado nesta pesquisa.

Felici et al. (2013) utilizaram cloreto férrico no tratamento de lixiviado pré-tratado biologicamente e encontraram altas remoções de cor (98%) em valores de pH ácidos (pH 3). Apesar da boa remoção, os autores relataram baixa velocidade de sedimentação, com estabilização de volume após 20 h. Neste trabalho, verificamos estabilidade de volume a partir de 20 min. de sedimentação.

Wolf et al. (2015) visando o tratamento de efluente de agroindústria (laticínio), nas condições de pH levemente ácido (pH igual a 6) e dosagem de  $20 \text{ mg L}^{-1}$  do coagulante Tanfloc SG com turbidez inicial de 109 NTU, observaram remoção de turbidez de 71,2%.

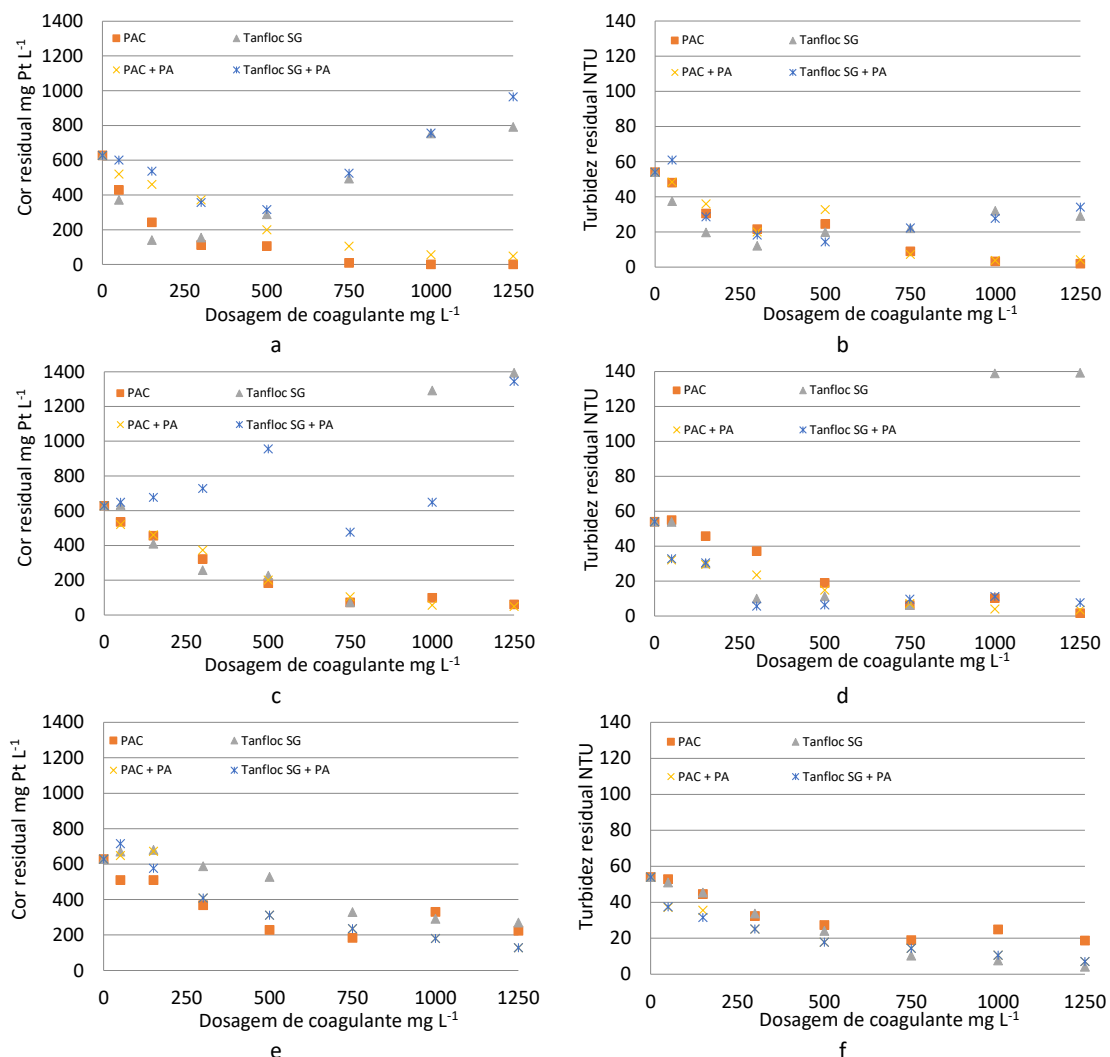
Máximo (2007), avaliando o tratamento de lixiviado bruto, utilizou dosagens de Tanfloc SG que variaram de 600 a  $2400 \text{ mg L}^{-1}$ , sendo que na dosagem de  $1800 \text{ mg L}^{-1}$ , verificou as melhores condições de remoção de turbidez, em torno de 66% e de remoções de cor alcançou valor em torno de 56%. O autor afirmou ainda que a adição de polímero aniônico em dosagem na faixa de 1 a  $2,25 \text{ mg L}^{-1}$ , não promoveu variações significativas nas remoções de turbidez e cor.

Segundo Pedroso et al. (2012), a eficiência no tratamento por coagulação/floculação para a remoção de abs UV com a aplicação do coagulante Tanfloc em amostras de lixiviado bruto estudadas foi obtida quando o pH do lixiviado era corrigido para valor básico (pH igual a 9) e utilizavam-se dosagens de  $1500 \text{ mg L}^{-1}$ , com remoções variáveis na faixa de 19 a 32%.

### 3.3 Cor e turbidez residual

Os valores residuais de cor e turbidez do efluente tratado pelo processo de coagulação/floculação demonstraram que, em todos os valores iniciais de pH analisados, os tratamentos com PAC e PAC+PA, em dosagens superiores a  $300 \text{ mg L}^{-1}$ , reduziram no mínimo 50% da cor e turbidez. Esse comportamento não foi verificado para o Tanfloc SG ou Tanfloc SG+PA (Figura 3).

**Figura 3:** Cor e turbidez residual em função do pH inicial, dosagem dos coagulantes e tratamento (tipos de coagulantes). Cor pH 5,0 (a), cor pH 7,0 (c), cor pH 9,0 (e), turbidez pH 5,0 (b), turbidez pH 7,0 (d), turbidez pH 9,0 (f)



A cor residual variou muito em função do pH e da utilização do PA. Porém, os menores valores residuais de cor considerando as menores dosagens foram encontrados nos valores iniciais de pH de cinco e sete. A turbidez residual foi cada vez menor no pH nove, quando se aumentava a dosagem do tratamento, fato este que não aconteceu nos demais níveis de pH, que tiveram seus menores níveis de turbidez residual na dosagem de 300 mg L<sup>-1</sup>.

Nos valores de pH de cinco e sete, ambos os coagulantes Tanfloc SG e PAC apresentaram remoções semelhantes em valores de baixa dosagem, sem a necessidade de polímero. No valor de pH 9, o PAC, PAC+PA e o Tanfloc SG+PA levaram a cor residual a valores muito semelhantes.

## 4. CONCLUSÕES

O processo de coagulação/floculação é eficiente para remoção de matéria orgânica suspensa, dissolvida, coloidal e substâncias húmicas do lixiviado de aterro sanitário, exceto as substâncias húmicas pelo Tanfloc SG.

A dosagem do PA utilizado não demonstrou resultados importantes em relação à melhoria na remoção dos parâmetros investigados.

Em condições de pH natural e pH básico o coagulante Tanfloc SG mostra bons resultados, mas, o coagulante PAC mostra-se superior, alcançando elevados percentuais de remoção de turbidez, cor e abs UV em todos os valores de pH analisados, além de resultar em baixas alterações do pH e menores volumes produzidos de lodo.

### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais (ICAA) e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCAM), de Sinop-MT; agradecem também à Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA; AWWA; WEF. American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environment Federation. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. Washington, 2012.

BANCH, Tawfiq J. H. *et al.* Factorial Design and Optimization of Landfill Leachate Treatment Using Tannin-Based Natural Coagulant. **Polymers**, v. 11, p. 1349-1364. 2019. DOI: 10.3390/polym11081349.

BARRADO-MORENO, María M.; BELTRÁN-HERÉDIA, Jesus.; MARTÍN-GALLARDO, José. Microalgal removal with natural coagulants. **Phycologia**, v. 55, n. 6, P. 688-695, 2016. DOI: 10.2216/15-113.1.

BOLTO, Bryan. A. Soluble polymers in water purification. **Progress in Polymer Science**, v. 20, p.987-1041, 1995.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução nº 430**, de 13 de maio de 2011. Brasília, 2005. Available at: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução nº 357**, de 17 de março de 2005. Brasília, 2005. Available at: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>.

CASTRO, Anelise Passerine de; YAMASHITA, Fábio; SILVA, Sandra Márcia Cesário Pereira da. Adição de polieletrólito ao processo de floculação no pós-tratamento de lixiviado por coagulação-floculação-sedimentação. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 17, p. 25-32, 2012.

CHOWDHURY, Manjushree *et al.* Treatment of leather industrial effluents by filtration and coagulation processes. **Water Resources and Industry**. v.3, p.11–22, 2013. DOI: 10.1016/j.wri.2013.05.002.

FELICI, Elson Mendonça *et al.* Remoção de carga orgânica recalcitrante de lixiviado de resíduos sólidos urbanos pré-tratado biologicamente por coagulação química-floculação-sedimentação. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 18, n. 2, p. 177-184. 2013.

FERREIRA, Daniel Furtado. Programa computacional Sisvar – UFLA, versão 5.3, 2010. Available at: <http://www.dex.ufla.br/~danielff/programas/sisvar.html>.

HAMEED, Yasir Talib *et al.* A tannin-based agent for coagulation and flocculation of municipal wastewater: Chemical composition, performance assessment compared to Polyaluminum chloride, and application in a pilot plant. **Journal of Environmental Management** n.184 p. 494-503, 2016. DOI: 10.1016/j.jenvman.2016.10.033.

IBRAHIM, Azreen; YASER, Abu Zahrim. Colour removal from biologically treated landfill leachate with tannin-based coagulant. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 7 p. 103483, 2019. DOI: 10.1016/j.jece.2019.103483.

KAWAHIGASHI, Flávia *et al.* Pós-tratamento de lixiviado de aterro sanitário com carvão ativado. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v.19 n.3, p. 235-244. 2014. DOI: 10.1590/S1413-41522014019000000652.

KAYA, Devrim; DILEK, Filiz B.; GÖKÇAY, Celal F. Reuse of lagoon effluents in agriculture by post-treatment in a step feed dual treatment process. **Desalination** v. 215, p. 29–36, 2007. DOI: 10.1016/j.desal.2006.11.013.

KORF, Eduardo Pavan *et al.* Retenção de metais em solo da antiga área de disposição de resíduos sólidos urbanos de passo fundo – RS. **Revista de Ciências Ambientais**, v.2, n.2, p. 43 a 60, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.18316/119>

KUMAR, R. Naresh; VERMA, Mohini; Can coagulation—flocculation be an effective pre-treatment option for landfill leachate and municipal wastewater co-treatment. **Perspectives in Science**. V. 8, P.492 a 494, 2016. DOI: 10.1016/j.pisc.2016.05.005.

LEE, Chai Siah; ROBINSON, John; CHONG, MeiFong. A review on application of flocculants in wastewater treatment. **Process Safety and Environmental Protection**. v. 92, n. 6, p. 489-508, 2014. DOI: 10.1016/j.psep.2014.04.010.

LEITE, Luan de Souza; HOFFMANN, Maria Teresa; DANIEL, Luiz Antonio. Coagulation and dissolved air flotation as a harvesting method for microalgae cultivated in wastewater. **Journal of Water Process Engineering**, v.32, p.100947, 2019. DOI: 0.1016/j.jwpe.2019.100947.

LETTERMAN, Raymond D.; YIACOUMI, Sotira. **Coagulation and Flocculation**. Chapter 8. In *Water Quality & Treatment*. McGraw-hill, 2011.

LIMA JÚNIOR, Raimundo N.; ABREU, Flávia O. M. da S. Produtos Naturais Utilizados como Coagulantes e Floculantes para Tratamento de Águas: Uma Revisão sobre Benefícios e Potencialidades. *Revista Virtual de Química*, v. 10, n. 3, p. 709-735, 2018. DOI: 10.21577/1984-6835.20180052.

LIMA, Daniel Pandilha de *et al.* Contaminação por metais pesados em peixes e água da bacia do rio Cassiporé. **Revista Acta Amazonica**, v. 45, p. 405-414, 2015. DOI: 10.1590/1809-4392201403995.

LOPES, Elisandra C. *et al.* Evaluation of a tannin-based coagulant on the decolorization of synthetic effluents, **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 7, p. 103125, 2019. DOI: 10.1016/j.jece.2019.103125

MÁXIMO, Vivian Alves. **Tratamento por coagulação-floculação dos lixiviados do aterro Sanitário da região metropolitana de Florianópolis**. 186 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2007. Available at: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/89595>.

MOODY, Chris M.; TOWNSEND, Timothy G.; A comparison of landfill leachates based on waste composition, **Waste Management**. p. 1-7, 2016. DOI: 10.1016/j.wasman.2016.09.020.

MORAVIA, Wagner Guadagnin; LANGE, Liséte Celina Lange; AMARAL, Míriam Cristina Santos Amaral. Avaliação de processo oxidativo avançado pelo reagente de fenton em condições otimizadas no tratamento de lixiviado de aterro sanitário com ênfase em parâmetros coletivos e caracterização do lodo gerado. **Química Nova**, v. 34, p.1370-1377, 2011. DOI: 10.1590/S0100-40422011000800014.

PEDROSO, Keylla *et al.* Avaliação do tratamento do lixiviado do aterro sanitário de maringá, paraná, por processo de coagulação/floculação com Tanfloc SG. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 4, n. 2, p. 87-98. 2012.

PEDROSO, Keylla *et al.* Avaliação da tratabilidade do lixiviado do aterro de Maringá-PR com a utilização de coagulantes naturais. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 3, n. 2, p. 47-52, 2011.

QUEIROZ, Luciano Matos *et al.* Aplicação de processos físico-químicos como alternativa de pré e pós-tratamento de lixiviados de aterros sanitários. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v.16, n.4, p.403-41. 2011. DOI: 10.1590/S1413-41522011000400012.

RABONI, Massimo *et al.* Experimental plant for the physical-chemical treatment of groundwater polluted by Municipal Solid Waste (MSW) leachate, with ammonia recovery. **Revista Ambiente & Água**, v. 8 n. 3, p. 22-32, 2013. DOI: 10.4136/ambi-agua.1250.

SPERLING, Marcos von. **Lagoas de estabilização**. Belo Horizonte: UFMG, 2006.

VELIZ, Eliet *et al.* Coagulation-Flocculation, Filtration and Ozonation of Wastewater for Reuse in Crop Irrigation. **Water Technology and Sciences**, v. 7, n. 1, p.17-34. 2016.

VIVAN, Marcelo *et al.* Eficiência da interação biodigestor e lagoas de estabilização na remoção de poluentes em dejetos de suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.14, n.3, p.320–325, 2010. DOI: 10.1590/S1415-43662010000300013.

WOLF, Gabriele *et al.* Application of Coagulation/Flocculation Process of Dairy Wastewater from Conventional Treatment Using Natural Coagulant for Reuse. **Chemical Engineering Transactions**, v. 43, p. 2041-2046, 2015. DOI: 10.3303/CET1543341.

YANG, Zhonglian *et al.* Aluminum fractions in surface water from reservoirs by coagulation treatment with polyaluminum chloride (PAC): Influence of initial pH and OH<sup>-</sup>/Al<sup>3+</sup> ratio. **Chemical Engineering Journal**, v. 170, p. 107–113. 2011. DOI: 10.1016/j.cej.2011.03.036.

YONG, Zi Jun *et al.* A sequential treatment of intermediate tropical landfill leachate using a sequencing batch reactor (SBR) and coagulation. **Journal of Environmental Management**, v. 205, p. 244-252, 2018. DOI: 10.1016/j.jenvman.2017.09.068.

YUSOFF, Mohd Suffian *et al.* Floc behavior and removal mechanisms of cross-linked Durio zibethinus seed starch as a natural flocculant for landfill leachate coagulation flocculation treatment. **Waste Management**. v. 74, p. 362–372, 2018. DOI: 10.1016/j.wasman.2018.01.016.

ZHANG, Panyue *et al.* Coagulation characteristics of polyaluminum chlorides PAC-Al30 on humic acid removal from water. **Separation and Purification Technology** 63 (2008) 642–647. DOI: 10.1016/j.seppur.2008.07.008.