

AVALIAÇÃO DO TRATAMENTO DO LIXIVIADO DO ATERRO SANITÁRIO DE MARINGÁ, PARANÁ, POR PROCESSO DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO COM TANFLOC SG®

Keylla Pedroso (Mestre em Engenharia Urbana PEU/UEM) E-mail: pedroso.engenharia@hotmail.com

Célia Regina Granhen Tavares (Professora Doutora da UEM/DEQ)

Vanderly Janeiro (Professor Doutor UEM/DES)

Thiago Lopes da Silva (Mestre em Engenharia Química DEQ/UEM)

Paulo Zanuto Dias (Graduando de Engenharia Química DEQ/UEM)

Resumo: Com a finalidade de alcançar a maior eficiência no tratamento dos efluentes frente à tecnologia disponível, diversas condições operacionais têm sido testadas nos ensaios de coagulação/floculação. Os métodos baseados no princípio de coagulação/floculação são os mais comumente utilizados, devido a sua ampla escala de atuação, menores custos operacionais e aplicabilidade na remoção de sólidos em suspensão. Tendo em vista as desvantagens de coagulantes comumente utilizados, o estudo com coagulantes naturais vêm aumentando à medida que muitos trabalhos realizados têm demonstrado eficiência para os diferentes efluentes avaliados. Sendo assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar o emprego do coagulante natural à base de tanino, de nome comercial Tanfloc SG®, proveniente da espécie arbórea *Acacia mearnsii* De Wild e mais conhecida no Brasil como acácia-negra, para o tratamento do lixiviado do aterro sanitário de Maringá- PR. Para avaliar os resultados de remoção dos parâmetros de cor, turbidez e compostos absorvidos a 254 nm utilizou-se um equipamento de Jar test sendo a avaliação realizada por meio do programa estatístico SAS versão 9.1 (Statistical Analysis System). Foi possível constatar que o processo físico-químico de coagulação/floculação utilizando coagulante natural do tipo tanfloc SG® apresentou-se como satisfatório principalmente com relação à redução da cor e da turbidez do lixiviado, assim como de compostos absorvidos a 254 nm verificados, e que devido às características variáveis de composição do lixiviado e dos mecanismos de reação do pH e da dosagem de coagulante utilizado, é necessário determinar frequentemente as condições de tratamento quando na utilização de Tanfloc SG®.

Palavras-chave: Lixiviado, coagulação/floculação, tanino.

EVALUATION OF LEACHATE TREATMENT FROM THE LANDFILL IN MARINGÁ, PARANÁ, BY THE PROCESS OF COAGULATION / FLOCCULATION WITH TANFLOC SG®

Abstract: In order to reach greater efficiency in the treatment of effluents opposite to the available technology, various operating conditions have been tested in coagulation / flocculation tests. Methods based on the principle of coagulation / flocculation are the most commonly used, due to its wide range of performance, lower operating costs and applicability in the removal of suspended solids. Considering the disadvantages of commonly used coagulants, the study of natural coagulants has been increasing as many performed studies have shown efficiency for different evaluated effluents. Therefore, the objective of this study was to evaluate the use of natural coagulant based on tanino, trade name Tanfloc SG®, from the tree species called *Acacia mearnsii* De Wild, better known in Brazil as black wattle, for the treatment of landfill leachate from Maringá-PR. To evaluate the removal results of color parameters, turbidity and the absorbed compounds to 254 nm, it was used an equipment of Jar test and the evaluation performed by the statistical program SAS version 9.1 (Statistical Analysis System). It was possible to find that the physicochemical process of coagulation / flocculation using natural coagulant Tanfloc SG® type, presented as satisfactory, mainly related to the reduction of color and turbidity of the leachate, as well as in compounds absorbed at 254 nm recorded, and that due to the variable characteristics of the leachate composition and reaction mechanisms of pH and the dosage of coagulant used, it is often necessary to determine the treatment conditions when using the Tanfloc SG®.

Keywords: Leachate, coagulation/flocculation, tanino.

1. INTRODUÇÃO

O método físico-químico baseado na coagulação/floculação tem como objetivo principal remover os sólidos presentes nos efluentes. Devido sua ampla escala e aos menores custos operacionais, têm sido frequentemente estudado nos processos de tratamento de águas residuárias e também para o lixiviado de aterro sanitário. De acordo com Vaz (2009) o mecanismo de coagulação/floculação é sensível a diversos fatores, a citar: tipo e dosagem de coagulante, pH do efluente, natureza das substâncias que conferem cor e turbidez, entre outros.

De acordo com Cruz *et al.* (2005) os sais de alumínio e os produtos convencionalmente, empregados para a correção do pH, são agentes inorgânicos não biodegradáveis que acrescentam elementos químicos à água, ou ao lodo gerado no processo. Esse lodo inorgânico gerado é de difícil manuseio por parte das empresas, em função do volume gerado e do elevado teor de umidade, bem como de sua difícil degradabilidade.

O uso de biopolímeros extraídos de vegetais no processo de coagulação tem várias vantagens em comparação aos sais químicos: (i) a natureza da alcalinidade da água não é consumida durante o processo de tratamento; (ii) o lodo gerado após tratamento apresenta tanto um menor volume como se encontra com menor concentração de metais pesados, quando comparado com o lodo gerado como uso de constituintes químicos e, finalmente (iii) esses biopolímeros podem ser originários de plantas locais de fácil processamento, dando um caráter potencial de baixos custos operacionais, quando comparados com reagentes químicos muitas vezes importados (SILVA *et al.*, 2004).

Tendo em vista as desvantagens de coagulantes comumente utilizados, o estudo com coagulantes naturais vêm aumentando à medida que muitos trabalhos realizados têm demonstrado eficiência para os diferentes efluentes avaliados. Dessa forma, esse trabalho teve como objetivo avaliar o emprego do coagulante natural à base de tanino, de nome comercial Tanfloc SG[®], proveniente da espécie arbórea *Acacia mearnsii* De Wild e mais conhecida no Brasil como acácia-negra, para o tratamento do lixiviado do aterro sanitário de Maringá- PR.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O lixiviado apresenta particularidades em sua composição, como: cor característica, elevada carga de matéria orgânica (presente em sólidos suspensos e dissolvidos), concentração elevada de amônia e presença de metais pesados. Essas e outras características inviabilizam seu lançamento in natura em corpos hídricos, devido ao possível impacto negativo que pode ocasionar tanto para o ecossistema local, quanto para a saúde pública.

A legislação brasileira a partir da resolução CONAMA 430/2011, dispõe sobre as condições e padrões de lançamento dos efluentes, complementando e alterando a resolução 357/2005 a qual também dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Desta forma, para cumprir as legislações vigentes é necessário tratar os efluentes, de forma que os mesmos se enquadrem nos padrões, visto que muitas fontes poluidoras geram efluentes de alto grau contaminante, como o lixiviado gerado pelo aterro sanitário.

As operações de coagulação, floculação, precipitação e sedimentação são empregadas conjuntamente com a finalidade de remover substâncias precipitáveis, como metais pesados e compostos orgânicos em solução no lixiviado, além de partículas coloidais em suspensão. A coagulação e a floculação são operações físico-químicas que permitem a aglomeração de

partículas muito pequenas, formando coágulos ou flocos maiores, mais sensíveis à decantação.

A coagulação-floculação transforma pequenas partículas em agregados maiores, passíveis de sedimentação. O processo global da coagulação inclui duas fases separadas e sequenciais: formação das espécies do coagulante e desestabilização das partículas e, colisões. A formação das espécies do coagulante e desestabilização das partículas ocorre por meio de processos químicos, e dependem principalmente do pH em que se realizam, enquanto que, as colisões entre as partículas (suspensas em estado coloidal), são resultantes de um fenômeno físico de transporte, realizado pela difusão e movimento do fluido e controlado por características físicas e químicas do meio (DIMATTEO, 1992).

De acordo com a TANAC/SA empresa responsável pela industrialização de coagulantes naturais, a base de tanino, o Tanfloc SG[®] (tanino utilizado nesse estudo), é considerado um polímero orgânico catiônico de baixo peso molecular, de origem essencialmente vegetal e que atua como coagulante, floculante e auxiliar de coagulação, no tratamento de águas em geral. Atua em sistemas de partículas coloidais, neutralizando cargas e formando pontes entre essas partículas, sendo este processo responsável pela formação de flocos e conseqüentemente, sedimentação.

Entre muitos coagulantes naturais citados na literatura, alguns trabalhos utilizando o coagulante à base de tanino podem ser observados na Tabela 1. A Tabela 1 também apresenta para embasamento desse estudo, as diferenças operacionais adotadas nos ensaios.

Tabela 1 – Diferenças operacionais no tratamento de efluentes com utilização de tanino

Efluente avaliado	Tipo de coagulante	Condições operacionais	Referências
Lixiviado	Tanino Concentrações: 500 mg.L ⁻¹ a 1500 mg.L ⁻¹	VMR - 400 rpm - 20 segundos VML - 45 rpm - 20 minutos TS - 30 minutos	Máximo et al., 2008
Lixiviado	Sulfato de alumínio, cloreto férrico, tanino catiônico e policloreto de alumínio (utilizando polieletrófilos) Concentrações: 400 a 950 mg.L ⁻¹	Correção do pH - 4 a 10 VMR - 150 rpm - 5 minutos VML - 15 rpm - 15 minutos TS - 30 minutos	Bila et al., 2005
Lixiviado	Tanino e moringa Concentrações 30, 50 e 100 mL.L ⁻¹	Correção do pH - 7,5 e 5 VMR - 120 rpm - 20 segundos VML - 45 rpm - 20 minutos TS - 15 a 30 minutos	Bassani, 2010
Lixiviado	Tanfloc SG [®] Concentrações 500, 2250 e 4000 mg.L ⁻¹	Correção do pH - 4,0; 6,5 e 9,0 VMR - 120 rpm - 20 segundos VML - 45 - 20 segundos TS - 30 minutos	Nagashima, 2009
Efluente de lavanderia industrial	Sulfato de alumínio (800 mg.L ⁻¹) e polímero catiônico (2 mg.L ⁻¹); tanino catiônico (166 mg.L ⁻¹) e polímero aniônico (2 mg.L ⁻¹); carvão ativado, tanino (166 mg.L ⁻¹) e polímero aniônico (2mg.L-1)	Não informado	Cruz et al., 2005

*VMR - Velocidade de mistura rápida, VML - Velocidade de mistura lenta, TS - Tempo de sedimentação
Fonte: autor (2011)

Com a finalidade de alcançar a maior eficiência no tratamento dos efluentes frente à tecnologia disponível, diversas condições operacionais têm sido testadas nos ensaios de coagulação/floculação. A partir dos trabalhos apresentados, pode-se verificar que inúmeros aspectos podem ser empregados para avaliação do processo físico-químico, e que essas condições podem influenciar significativamente no resultado do tratamento do efluente estudado.

Devido à viabilidade econômica de custos com coagulante, e sabendo-se que esse tipo de tratamento tem como resultado a formação de lodo, o qual também é considerado um resíduo e necessita de um tratamento e uma destinação final adequada, estudos são realizados na tentativa de buscar as melhores dosagens visando uma menor geração de lodo, com características de biodegradabilidade.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras de lixiviado utilizadas nesse estudo foram coletadas no tanque de armazenamento de lixiviado. O tanque foi projetado apenas com a função de dispor todo o volume de lixiviado drenado pelo sistema existente no aterro. A área em que se encontra instalado o aterro sanitário de Maringá-PR não possui no próprio local uma estação de tratamento ou um processo projetado com a finalidade de tratar o lixiviado gerado, dessa forma o efluente gerado é encaminhado para tratamento externo.

As amostras de lixiviado utilizadas nessa pesquisa foram coletadas ao mesmo tempo em que se realizava o esgotamento do tanque de armazenamento pelo caminhão-tanque. A cada esgotamento do tanque, realizado em diferentes períodos (mensais), retiravam-se amostras simples e homogêneas do lixiviado a serem utilizadas no presente trabalho.

Após a coleta, as amostras eram armazenadas em galões de polietileno e conduzidas para o Laboratório de Gestão Controle e Preservação Ambiental (LGCPA) da UEM, no qual se realizavam os ensaios. Quando necessário, as amostras eram armazenadas e resfriadas para garantir seu uso posterior, seguindo a descrição dos métodos de preservação e armazenagem das amostras líquidas estabelecidas na NBR 10007/2004 da ABNT.

Para alcançar um tratamento eficiente, visto a complexidade de um efluente como um lixiviado de aterro, devem ser realizados planejamentos experimentais de maneira que se possa avaliar as melhores condições operacionais por meio da sua otimização.

O processo de coagulação/floculação realizado foi avaliado para três diferentes amostras de lixiviado, coletadas entre o período de setembro de 2011 a dezembro de 2011. Optou-se em estudar diferentes amostras de lixiviado 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.

Para a realização do processo físico-químico, duas variáveis foram escolhidas como os fatores de controle a serem otimizados, sendo a dosagem de coagulante Tanfloc SG[®] utilizado e o pH das amostras do lixiviado.

Para avaliar o tratamento de coagulação/floculação realizou-se um planejamento experimental 3x4. Foram estudadas quatro diferentes dosagens de coagulante Tanfloc SG[®] aplicadas para três condições de pH do lixiviado. Sendo assim, foram investigadas as melhores condições de tratamento do lixiviado com relação à remoção de cor aparente, turbidez e compostos absorvidos a 254 nm.

Os testes de coagulação/floculação foram realizados em um equipamento de Jar Test da marca Milan, modelo 101/6, o equipamento possui hastes de aço inox e controlador de rotação. Fixou-se no presente trabalho o tempo de 20 segundos de rotação para mistura rápida a 120 rpm (aproximadamente GMR de 110 s^{-1}) e o tempo de 20 minutos de rotação para mistura lenta a 60 rpm (aproximadamente GML s^{-1}). Os valores foram encontrados com base nas especificações do modelo fornecido pela empresa fabricante do Jar test, também citado por Franco (2009). Adotou-se como tempo de sedimentação o período de 30 minutos. Nos ensaios, o equipamento operou com seis bécheres de vidro de 250 mL, com volume útil de 150 mL. Todos os ensaios foram conduzidos com o lixiviado em temperatura ambiente de 25°C .

Para ajuste do pH das amostras de lixiviado, foram utilizadas soluções de ácido clorídrico HCl (Biotec® 0,5 N) e de hidróxido de sódio NaOH (Nuclear® 0,5 N). Após o período de agitação em Jar Test, nas condições estabelecidas, as amostras foram mantidas em repouso para que os flocos formados sedimentassem ao longo de 30 minutos, analisando-se o sobrenadante sem o excesso do material decantado. Não foram realizados ensaios com o lodo obtido nos processos de coagulação/floculação.

Para a preparação da solução padrão de coagulante utilizado nos ensaios diluía-se o coagulante de acordo com as dosagens utilizadas. Quatro dosagens foram avaliadas: 500, 900, 1100 e 1500 mg/L. De acordo com o fabricante, o Tanfloc SG não altera o pH da água tratada, por não consumir a alcalinidade do meio, ao mesmo tempo em que é efetivo para o tratamento de efluentes em uma faixa de pH de 4,5 a 8,0.

Para avaliação do tratamento, foram coletadas amostras do sobrenadante realizando-se as seguintes análises: cor aparente ($\text{mg.L}^{-1} \text{ PtCo}$), turbidez (FAU convertido para NTU) em espectrofotômetro HACH modelo DR/2010, de acordo com metodologia do equipamento, e absorvância a 254 nm em um espectrofotômetro HACH DR/5000, com leitura em comprimento de onda de 254 nm. Devido a concentração elevada das amostras eram realizadas diluições de 1:50. Para maior confiabilidade dos resultados todas as análises eram realizadas em triplicata.

Os resultados de remoção dos parâmetros avaliados foram analisados por meio do programa estatístico SAS versão 9.1 (Statistical Analysis System) pertencente ao Departamento de Estatística da Universidade Estadual de Maringá –PR.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No tratamento de coagulação/floculação foi avaliado a influência da dosagem de coagulante Tanfloc SG® e do pH na eficiência do tratamento de três diferentes amostras de lixiviado quando utilizado o coagulante à base de tanino. Utilizou-se como ferramenta a análise de tendência do planejamento fatorial 3×4 (12 tratamentos) com duas réplicas, totalizando 24 ensaios para cada amostra. Como variáveis respostas foram avaliadas as remoções de cor aparente, turbidez e de compostos absorvidos a radiação de UV-254 nm. A avaliação estatística para as variáveis respostas foram obtidas pelo programa SAS 9.1. Foram considerados nos ensaios três níveis de pH (pH 4, pH do lixiviado bruto e pH 9) e quatro dosagens de coagulante utilizado, como já apresentado.

A escolha das diferentes dosagens de coagulante Tanfloc SG® utilizado foi baseada na literatura, uma vez que diversos trabalhos têm apresentado diferentes faixas no tratamento, de 500 a 3000 mg/L (BILA, 2002), de 500 a 2300 mg/L (MÁXIMO, 2007), de 30 a 100 mL/L (BASSANI, 2010) e de 500 a 4000 mg/L (NAGASHIMA, 2009). Visto que de acordo com a empresa fornecedora do Tanfloc SG® esse coagulante é efetivo para um efluente com pH de 4,5 a 8 e que o pH do lixiviado bruto coletado encontrava-se próximo a neutralidade, foram

também realizados ensaios no intuito de verificar quais as respostas seriam obtidas para um lixiviado em condições de pH básico (pH=9) e ácido (pH=4).

Nas Tabelas 2, 3 e 4 são apresentadas respectivamente, para cada amostra de lixiviado, a análise de variância para os fatores principais e para as interações. São indicadas as significâncias das remoções ao nível de 5% para cada variável resposta estudada, como também, são apresentados os resultados a partir das médias obtidas pelo teste de Tukey.

Na Tabela 2 é apresentada a análise de variância do planejamento estatístico obtido na avaliação da amostra 1, sendo esta classificada dentre as três como a que apresenta a menor concentração de poluentes para o lixiviado estudado.

Tabela 2 – Resumo da análise de variância do planejamento 3x4 para a amostra 1 de lixiviado

Parâmetro Avaliado	Ph		Dosagem de coagulante (mg/L)		Interação pH x Dosagem de coagulante (mg/L)
	Significativo (p = 0.0003)		Significativo (p = 0.0023)		Não Significativo (p = 0.4901)
Compostos absorvidos a 254 nm	pH	Média	coagulante	Média	
	bruto	0,256 A*	500(mg/L)	0.257 A*	
	4	0,224 B*	900(mg/L)	0.230 B*	
	9	0,216 B*	1100(mg/L)	0.224 B*	
			1500(mg/L)	0.217 B*	
		Não Significativo (p = 0.6785)		Significativo (p = 0.0346)	
Cor aparente (mg/L PtCo)	pH	Média	coagulante	Média	
	9	1930	500 (mg/L)	2360 A*	
	bruto	1735	900 (mg/L)	1813 B A*	
	4	1715	1500(mg/L)	1688B A*	
			1100(mg/L)	1313 B*	
Turbidez (NTU)	Significativo (p = 0.0003)		Não Significativo (p = 0,1334)		Não Significativo (p = 0.1164)
	pH	Média	Coagulante	Média	
	4	197,5 A*	500 (mg/L)	193,3	
	bruto	185 A*	1100(mg/L)	163,3	
	9	115 B*	900 (mg/L)	153,3	
			1500(mg/L)	153,3	

Significativo e não significativo por meio do teste F considerando 5% de significância.

*Médias seguidas de letras latinas iguais, não apresentam diferença significativas segundo teste de Tukey com 5% de significância.

Fonte: autor (2011)

Verifica-se na Tabela 2 que os resultados obtidos em relação à remoção de compostos absorvidos a 254 nm, apresentou significância quando o valor do pH do lixiviado foi corrigido para básico (9) e com uma elevada dosagem de coagulante (1500 mg/L). Já para a cor os resultados mostram-se significativos apenas para o fator coagulante, verificando-se que melhores remoções são obtidas quando utilizadas também uma das maiores dosagens de

Tanfloc SG[®], de 1100 mg/L. Para a turbidez nota-se que apenas o fator pH foi significativo, obtendo-se maiores remoções quando o pH foi corrigido para básico (pH=9).

Contudo, para o tratamento da amostra 1 foi observado que, de maneira geral, as melhores condições de remoção são obtidas quando o lixiviado é ajustado para um pH=9 e quando são utilizadas altas dosagens de coagulante Tanfloc SG[®] de até 1500 mg/L.

Na Tabela 3 é apresentada a análise de variância do planejamento estatístico obtido na avaliação da amostra 2, sendo esta classificada dentre as três como a que apresenta a concentração intermediária de poluentes para o lixiviado estudado.

Tabela 3 – Resumo da análise de variância do planejamento 3x4 para a amostra 2 de lixiviado

Parâmetro Avaliado	pH		Dosagem de coagulante (mg/L)		Interação pH x Dosagem de coagulante (mg/L)
	Significativo (p = 0,0001)		Significativo (p = 0,0402)		Não Significativo (p = 0,1400)
Compostos absorvidos a 254 nm	pH	Média	Coagulante	Média	
	bruto	0,550 A*	500 (mg/L)	0,506 A*	
	9	0,461 B*	900(mg/L)	0,488 B A*	
	4	0,458 B*	1500(mg/L)	0,487 B A*	
			1100(mg/L)	0,478 B	
		Não Significativo (p = 0,4199)		Não Significativo (p = 0,8149)	Não Significativo (p = 0,4104)
Cor aparente (mg/L PtCo)	pH	Média	Coagulante	Média	
	Bruto	5955	1100(mg/L)	5727	
	4	4795	900(mg/L)	5167	
	9	4575	500(mg/L)	5020	
			1500(mg/L)	4520	
		Não Significativo (p = 0,2787)		Não Significativo (p = 0,1480)	Não Significativo (p = 0,6554)
Turbidez (NTU)	pH	Média	Coagulante	Média	
	bruto	114,29	1500(mg/L)	126	
	4	105	1100(mg/L)	113	
	9	80	500 (mg/L)	80	
			900 (mg/L)	72	
		Não Significativo (p = 0,2787)		Não Significativo (p = 0,1480)	Não Significativo (p = 0,6554)

Significativo e não significativo por meio do teste F considerando 5% de significância.

*Médias seguidas de letras latinas iguais, não apresentam diferença significativas segundo teste de Tukey com 5% de significância.

Fonte: autor (2011)

Observa-se na Tabela 3 que com relação à remoção de compostos absorvidos a uma radiação de 254 nm, os resultados foram significativos e aproximados quando o pH do lixiviado foi corrigido para ácido (4) e para básico (9), e com uma elevada dosagem de coagulante utilizado (1100 mg/L). Já para a remoção de cor nenhum dos fatores estudados mostram-se significativos, porém verifica-se que melhores remoções são obtidas quando utilizadas maiores dosagens de Tanfloc SG[®] de 1500 mg/L com pH ajustado para básico (pH=9). Para a turbidez também nota-se que nenhum fator foi significativo e analisando a remoção obtida

verifica-se que as melhores condições são alcançadas quando o pH do lixiviado é corrigido para 9 com uma concentração mais baixa de coagulante de 900 mg/L.

Sendo assim, avaliando os fatores significativos e as remoções obtidas por aqueles que não apresentaram significância, foi possível concluir que a eficiência no tratamento de coagulação/floculação da amostra 2 foi obtida quando o lixiviado era corrigido para um pH=9 e quando utilizavam-se maiores dosagens de coagulante (de 1100 mg/L).

E por fim, na Tabela 4 é apresentada a análise de variância do planejamento estatístico obtido na avaliação da amostra 3, sendo esta classificada dentre as três como a que apresenta a maior concentração de poluentes para o lixiviado estudado.

Tabela 4 – Resumo da análise de variância do planejamento 3x4 para a amostra 3 de lixiviado

Parâmetro Avaliado	pH		Dosagem de coagulante (mg/L)		Interação pH x Dosagem de coagulante (mg/L)
	Significativo (p = 0,0925)		Significativo (p = 0,0215)		Significativo (p = 0,0383)
Compostos absorvidos a 254 nm	pH	Média	Coagulante	Média	pH 9 e coagulante 1500 (mg/L) (Figura 20)
	bruto	23,32	500(mg/L)	23,23	
	4	22,11	900(mg/L)	23,05	
	9	22,11	1100(mg/L)	22,77	
			1500(mg/L)	21,00	
		Significativo (p = 0,0048)		Não Significativo (p = 0,1965)	
Cor aparente (mg/L PtCo)	pH	Média	Coagulante	Média	
	Bruto	7100 A*	900(mg/L)	6373,3	
	9	5575 B*	500(mg/L)	6153,3	
	4	5120 B*	1100(mg/L)	6073,3	
			1500(mg/L)	5126,7	
Turbidez (NTU)	Significativo (p = 0,0001)		Significativo (p = 0,0012)		Significativo (p = 0,0003)
	pH	Média	Coagulante	Média	pH 9 e coagulante 900 (mg/L) (Figura 21)
	Bruto	1180	500(mg/L)	966,67	
	9	650	900(mg/L)	946,67	
	4	580	1100(mg/L)	713,33	
			1500(mg/L)	586,67	

Significativo e não significativo por meio do teste F considerando 5% de significância.

*Médias seguidas de letras latinas iguais, não apresentam diferença significativas segundo teste de Tukey com 5% de significância.

Fonte: autor (2011)

A Tabela 4 apresenta os resultados dos valores obtidos para os compostos absorvidos a 254 nm e para esse parâmetro dois fatores foram significativos, bem como a interação entre os mesmos. Nesse caso, devido à interação ter significância foi necessário avaliar os resultados ótimos a partir da interação, obtendo-se os valores a partir do gráfico da interação das médias, como apresentado na Figura 1.

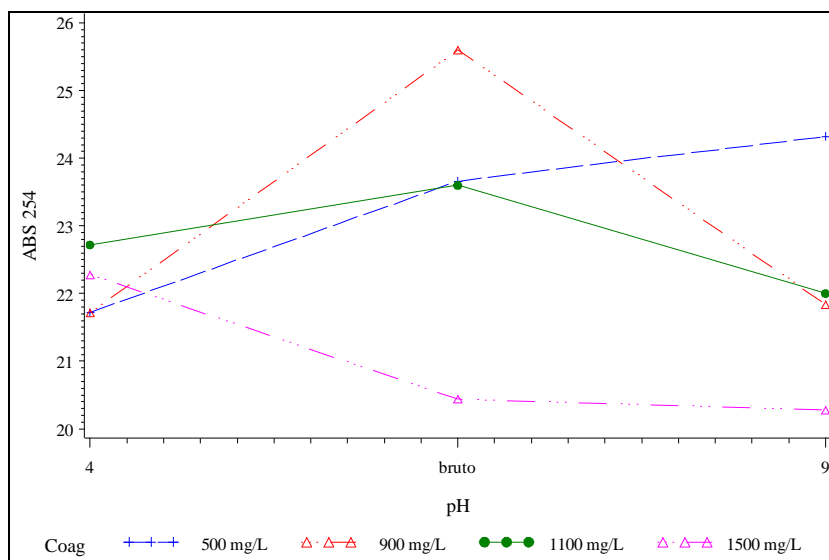


Figura 1 – Gráfico de interação de médias para compostos a UV-254 nm para o lixiviado da amostra 3

Na Figura 1 é apresentada a variação dos compostos absorvidos a 254 nm, sendo que melhores resultados foram alcançados para esse parâmetro quando o coagulante Tanfloc SG[®] é utilizado a uma dosagem de 1500 mg/L com pH corrigido para 9.

Ainda na Tabela 4 é possível visualizar que com relação à cor nenhum fator de interação foi significativo para esse parâmetro, porém as reduções são observadas quando a dosagem do coagulante também é elevada (1550 mg/L) tanto para um lixiviado com pH corrigido para 4 como para 9. Já à turbidez investigada apresentou como significativo os resultados apresentados na interação entre os fatores. Sendo assim, foi necessário avaliar também o gráfico de interação de médias obtido para remoção de turbidez da amostra, apresentado na Figura 2.

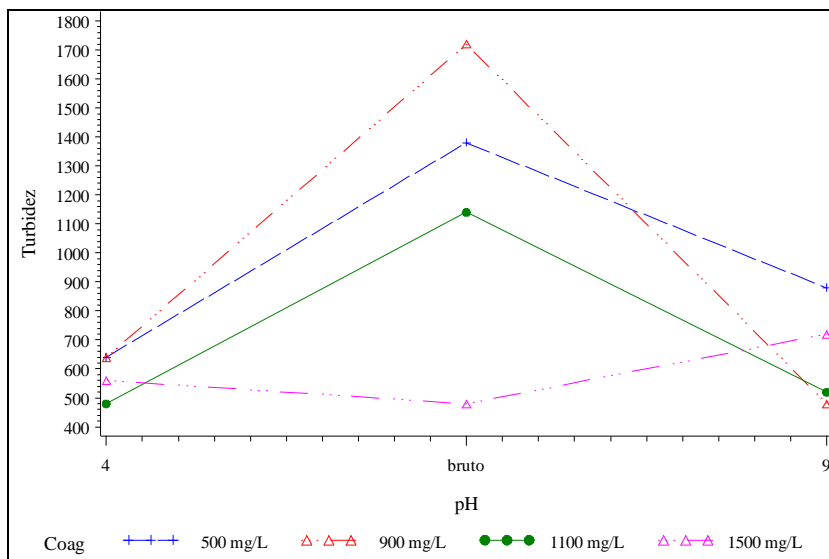


Figura 2 – Gráfico de interação de médias para turbidez (NTU) para o lixiviado da amostra 3

Na Figura 2 é possível verificar que a remoção máxima para a turbidez é obtida quando o coagulante Tanfloc SG[®] é utilizado a uma concentração de 900 mg/L com pH=9. A concentração de coagulante de 1500 mg/L também se apresentou como satisfatória para esse

fator, principalmente quando avaliadas as amostras com o lixiviado bruto que se apresentava próximo a neutralidade para essa amostra.

Dessa forma, considerando a significância obtida a partir da interação dos fatores na avaliação dos compostos absorvidos a 254 nm e da turbidez, e a melhor remoção de cor (que não foi significativa para nenhum fator, mas que se apresentou satisfatória) foi possível concluir que a eficiência no tratamento de coagulação/floculação da amostra 3 foi obtida quando o lixiviado era corrigido para um pH=9 e quando utilizava-se a maior dosagem de coagulante, de 1500 mg/L.

Com o intuito de sumarizar os resultados ótimos obtidos nos ensaios de coagulação/floculação para as três amostras de lixiviado estudadas, a Tabela 5 apresenta as remoções obtidas no processo de tratamento.

Tabela 5 – Melhores remoções alcançadas durante o processo de coagulação/floculação para as amostras de lixiviado estudadas

Amostra	pH da amostra e dosagem do coagulante	Parâmetros	Características	
			Iniciais das Amostras	Remoções obtidas %
amostra 1 baixa concentração de poluentes	pH= 9 1500 mg.L ⁻¹	Cor (mg/L PtCo)	4480	59,97%
		Turbidez (NTU)	360	53,93%
		Compostos absorvidos a 254 nm	12,24	24%
amostra 2 média concentração de poluentes	pH= 9 1100 mg.L ⁻¹	Cor (mg/L PtCo)	7040	33,80%
		Turbidez (NTU)	1560	94,87%
		Compostos absorvidos a 254 nm	25,68	31,69%
Amostra 3 alta concentração de poluentes	pH= 9 1500 mg.L ⁻¹	Cor (mg/L PtCo)	10800	48,70%
		Turbidez (NTU)	2000	64%
		Compostos absorvidos a 254 nm	25,24	19,66%

Fonte: autor (2011).

5. CONCLUSÕES

O processo de coagulação/floculação com Tanfloc SG[®] permitiu reduções significativas principalmente para cor e turbidez do lixiviado do aterro sanitário de Maringá-PR, enquanto menores reduções foram encontradas para os compostos absorvidos a 254 nm.

Foi possível constatar que o processo físico-químico de coagulação/floculação utilizando coagulante natural do tipo tanfloc SG[®] apresentou-se como satisfatório principalmente com relação à redução da cor e da turbidez do lixiviado, assim como de compostos absorvidos a 254 nm verificados. A cor e a turbidez do lixiviado que se apresentaram sempre elevadas em até 10800 mg/LPtCo e 2000 NTU respectivamente, alcançaram remoções durante o tratamento com Tanfloc SG[®] de até 48,70% para a cor e de 64% para a turbidez. Já a os compostos absorvidos a 254 nm apresentaram remoção de até 19,66%.

A redução destes parâmetros representa de forma indireta parte da matéria orgânica removida em forma de sólidos dissolvidos e suspensos no lixiviado, assim como a remoção de substâncias húmicas e fúlvicas identificadas pela absorção em UV 254 nm. O estudo da otimização do tratamento de coagulação/floculação com o lixiviado possibilitou verificar que, devido às características variáveis de composição do lixiviado e dos mecanismos de reação do pH e da dosagem de coagulante utilizado, é necessário determinar frequentemente as condições de tratamento quando na utilização de Tanfloc SG[®].

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FINEP e a CAPES pelo financiamento do projeto e pela concessão de bolsa.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Resolução NBR n° 10007, de 2004. Dispõe sobre a amostragem de resíduos sólidos.

BASSANI, F. *Monitoramento do lixiviado do aterro controlado de Maringá, Paraná, e avaliação da tratabilidade com coagulantes naturais, radiação ultravioleta (UV) e Ozônio.* Dissertação de Mestrado, PEU/UEM, Maringá, PR, Brasil, 2010.

BILA, D.; MONTALVÃO, A.F.; DEZOTTI, M. *Aplicação de um processo oxidativo no aumento da biodegradabilidade do chorume do aterro de gramacho/RJ.* In: COBEQ- Congresso Brasileiro de Engenharia Química, Natal, RN, Brasil, 2002.

BILA, D. M.; MONTALVÃO, A. F.; SILVA, A. C.; DEZOTTI, M. *Ozonation of a landfill leachate: evaluation of toxicity removal and biodegradability improvement.* Journal of Hazardous Materials, B117, pp. 235-242, 2005.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA - Resolução n° 357 de 17 de Março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA - Resolução n° 430 de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e os padrões de lançamento de efluentes, complementando e alterando a resolução 357 de 17 de março de 2005, 2011.

CRUZ, J. G.; MENEZES, J. C. S. S.; RUBIO, J.; SCHNEIDER, I. A. H. *Aplicação de coagulante vegetal á base de tanino no tratamento por coagulação/floculação e adsorção/coagulação/floculação do efluente de uma lavanderia industrial.* 23° Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande, MS, Brasil, 2005.

DIMATTEO, M. L. *Influência da pré-ozonização na coagulação – floculação utilizando o cloreto férrico como coagulante.* Dissertação de Mestrado, FEC/UNICAMP, Campinas, SP, Brasil, 1992.

MAXIMO, V. A. *Tratamento por coagulação-floculação dos lixiviados do aterro sanitário da região metropolitana de Florianópolis.* Dissertação de Mestrado. PPGEA/UFSC, Florianópolis, SC, Brasil, 2007.

MAXIMO, V. A; CASTILHOS, A. B.; MARTINS, C.L; SILVA, J. D. *Estudo do processo de tratamento por coagulação-floculação de lixiviados gerados em aterro sanitário da região metropolitana de Florianópolis.* XIII SILUBESA - Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Belém, PA, Brasil, 2008.

NAGASHIMA, L.A. *Monitoramento do lixiviado em lagoa de estabilização e estudo da aplicabilidade do reagente fenton e do coagulante tanino como formas de tratamento.* Tese de Doutorado, DEQ/UEM, Maringá, PR, Brasil, 2009.

SILVA, F. J. A; SOUZA L. M. M.; MAGALHÃES S. L. *Uso Potencial de Biopolímero de origem vegetal na descolorização de efluente têxtil índigo.* 22^o Congresso Brasileira de Engenharia Química, Joinville, SC, Brasil, 2004.

TANAC/SA. Tanfloc: Coagulante/floculante de origem vegetal. Tanac S.A. Montenegro/RS, Disponível na internet via WWW. URL: <http://www.tanac.com.br/PT/index.php>. Acesso em: 20/07/2011.

VAZ, L. G. L. *Performance do processo de coagulação/floculação no tratamento do efluente líquido gerado na galvanoplastia.* Dissertação de Mestrado. EQ/UNIOESTE, Toledo, PR, Brasil, 2009.

FRANCO, E. S. *Avaliação da influência dos coagulantes sulfato de alumínio e cloreto férrico na remoção de turbidez e cor da água bruta e sua relação com sólidos na geração de lodo em estações de tratamento de água.* Dissertação de mestrado, ICEB/UFOP, Ouro preto, MG, Brasil, 2009.