

## 178 - AVALIAÇÃO DO TRATAMENTO DO LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO POR PROCESSO FÍSICO-QUÍMICO

**Luisa Maria Horta Maia** <sup>(1)</sup>

Mestranda do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – PROEC da Universidade Federal de Sergipe – UFS.

**Anderson de Jesus Lima** <sup>(2)</sup>

Mestrando do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – PROEC da Universidade Federal de Sergipe – UFS

**Luciana Coelho Mendonça** <sup>(3)</sup>

Doutora em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela escola de Engenharia de São Carlos. Professora do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Sergipe – UFS e membro permanente do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – PROEC da Universidade Federal de Sergipe – UFS.

**Denise Conceição de Gois Santos Michelin** <sup>(4)</sup>

Doutora em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina. Professora do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Sergipe – UFS e Professora do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – PROEC da Universidade Federal de Sergipe – UFS

**Endereço** <sup>(1)</sup>: . Av. Marechal Rondon, s/n, Jardim Rosa Elze, São Cristóvão, SE, CEP: 49.100-000 - Brasil - Tel: +55 (79) 3194-6700 - e-mail: [luisahortamaia@hotmail.com](mailto:luisahortamaia@hotmail.com).

### RESUMO

O lixiviado de aterro sanitário é um efluente escuro, líquido, rico em matéria orgânica e metais pesados, que na ausência de tratamento adequado podem causar impactos ambientais. Para seu tratamento pode-se usar processos biológicos e/ou físico-químicos. Este trabalho utilizou um tratamento físico-químico (coagulação/floculação seguido de sedimentação), em *jar test*, para verificar sua eficiência no tratamento de uma mistura lixiviado-esgoto de 50%. Para isso, foram analisados os parâmetros de cor, turbidez e pH na mistura bruta e tratada. Utilizaram-se dois tipos de coagulante, tanino vegetal e sulfato de alumínio, com concentrações que variaram de 750 mg/L a 1500 mg/L. Obteve-se eficiência máxima de remoção de cor (43%) e turbidez (53%), utilizando-se 1350 mg/L e 1500 mg/L de tanino, respectivamente. Para o sulfato de alumínio, a eficiência máxima de redução de cor foi de 45% com 1500 mg/L e turbidez de 60% com 1350 mg/L. Os volumes de lodo gerado para as mais diversas concentrações foram semelhantes para os dois coagulantes. A relação entre as concentrações testadas e a eficiência de remoção de cor e turbidez e o volume de lodo gerado indicam a necessidade de se testar concentrações maiores para ambos os coagulantes.

**PALAVRAS-CHAVE:** lixiviado, aterro sanitário, coagulação/floculação, tanino vegetal, sulfato de alumínio.

### INTRODUÇÃO

Com o avanço tecnológico e o atual nível de consumo, a geração de resíduos sólidos tem aumentado consideravelmente no meio urbano. A maioria das cidades do mundo enfrentam problemas relativos à destinação e disposição dos resíduos gerados (ABLP, 2010). Muitas dessas, destinam seus resíduos em desacordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, que define que uma destinação ambientalmente adequada dos resíduos sólidos inclui a reutilização, reciclagem, compostagem, recuperação, aproveitamento energético e disposição final, observando normas operacionais específicas (BRASIL, 2010).

Para o Brasil, o aterro sanitário é visto como a melhor maneira de disposição desses resíduos (ABLP, 2010). O aterro sanitário é uma obra de engenharia projetada sob critérios técnicos, cujo objetivo é garantir a disposição dos resíduos sólidos urbanos sem causar danos à saúde pública e ao meio ambiente. Considera-se como uma das técnicas mais eficientes e segura de destinação dos resíduos sólidos, pois permite um controle eficiente e seguro do processo e, em geral, apresenta menor custo-benefício (ELK, 2007). Entretanto, no

estado de Sergipe, a maioria dos municípios adotam destinação inadequada para os resíduos sólidos urbanos gerados: 55 municípios dispõem em lixões a céu aberto, 2 utilizam aterros controlados e apenas 9 municípios dos 75 existentes enviam seus resíduos sólidos para o único aterro sanitário instalado no estado (SERGIPE, 2014).

Os aterros sanitários podem receber e acomodar diversos tipos de resíduos, sendo adaptável a qualquer tipo e tamanho de comunidade. O aterro se comporta como um reator dinâmico, cujas reações químicas e biológicas emitem biogás, efluentes líquidos, como os lixiviados (chorume), e resíduos mineralizados (húmus) a partir da decomposição da matéria orgânica (ELK, 2007). O lixiviado de aterro sanitário é um líquido escuro originário de três fontes diferentes: da umidade natural do resíduo (aumentada no período chuvoso); da água de constituição da matéria orgânica, que escorre durante o processo de decomposição; e das bactérias existentes nos resíduos, que expelem enzimas que dissolvem a matéria orgânica com formação de líquido (SERAFIM *et al.*, 2003).

O lixiviado de aterro sanitário representa um dos principais fatores de riscos ambiental, tanto por suas altas concentrações de matéria orgânica quanto pela quantidade considerável de metais pesados. De acordo com Cheibub, Campos e Fonseca (2014) a cor em lixiviados de aterros sanitários está relacionada à concentração de substâncias orgânicas em decomposição, estima-se que o percolado de aterro sanitário apresenta Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO equivalente a 200 vezes a do esgoto doméstico (BORTOLAZZO, 2010). As diversas alternativas para o tratamento do chorume podem ser classificadas em três grandes grupos: tratamento por meio de equipamentos e unidades instaladas no próprio aterro, tratamento conjunto com esgotos sanitários em Estações de Tratamento de Esgotos – ETE situadas fora do aterro, e a combinação das duas possibilidades anteriores. O tratamento dos líquidos lixiviados, via de regra, envolve processos físico-químicos e/ou biológico (LIBÂNIO, 2002).

Várias técnicas podem ser empregadas no tratamento do lixiviado de aterro sanitário, as principais são: processo de *striping* de amônia, para a eliminação do gás amônia dissolvida no efluente a partir da mudança de fase líquida para gasosa; precipitação química, que promove a remoção de partículas dissolvidas e suspensas por sedimentação, mediante adição de produtos químicos; processo de coagulação/floculação, que provoca a desestabilização das partículas coloidais pela ação de um agente coagulante, formando flocos que se aglomeram e aumenta de tamanho, com maior facilidade de sedimentação; adsorção por carvão ativado, onde ocorre a retenção dos poluentes nos microporos do carvão por interações físicas ou químicas; sistemas de lagoas em série (anaeróbias, facultativas e maturação), nas quais ocorrem a remoção da matéria orgânica por meio de ações biológicas; reatores anaeróbios e/ou lodos ativados, nos quais os lixiviados de aterro sanitário é tratado de modo semelhante aos esgoto domésticos; tratamento combinado de lixiviados de aterros com esgoto sanitário em ETE's; e por fim, tratamento por evaporação, que permite a redução do volume do efluente, utilizando a energia solar como fonte de aquecimento no processo de destilação natural, que envia para atmosfera diversos poluentes presente no chorume (GOMES, 2009).

A eficiência da coagulação/floculação no tratamento do chorume tem sido largamente estudada para os mais diversos tipos de coagulantes, de origem orgânica ou química. Deuschle (2016) e Silva (2016) avaliaram a eficiência do coagulante orgânico tanino e do coagulante químico, sulfato de alumínio, no tratamento de lixiviados de aterro sanitário. O primeiro autor obteve redução de 75% de cor com o emprego do sulfato de alumínio e 83% no uso do tanino. Já o segundo, alcançou eficiência de remoção de cor na ordem de 71,82% e 80,10%, para o sulfato de alumínio e o tanino, respectivamente.

## **OBJETIVO**

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência de remoção cor e turbidez, através do tratamento por coagulação/floculação seguida de sedimentação, utilizando coagulante orgânico tanino e sulfato de alumínio, em lixiviados gerados em um aterro sanitário no estado de Sergipe.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Saneamento e Meio Ambiente, do Departamento de Engenharia Civil (DEC), da Universidade Federal de Sergipe.

O lixiviado de aterro sanitário utilizado foi coletado do aterro de Rosário do Catete, em Sergipe, durante o mês de maio, foram coletados 8 litros e a amostra foi armazenada à temperatura de 4°C para que se pudesse utilizá-la posteriormente, conforme as recomendações para preservação e armazenagem das amostras líquidas, estabelecidas pela NBR 10.007 – amostragem de resíduos sólidos (ABNT, 2004).

O esgoto bruto utilizado (amostragem no volume de 8 litros) foi coletado na estação de tratamento de esgoto da Universidade Federal de Sergipe, que recebe os esgotos gerados no campus de São Cristóvão e possui tratamento preliminar, tratamento secundário, constituído por reator UASB, seguido por valo de oxidação e tratamento terciário (MENEZES e MENDONÇA, 2017).

### **Preparação dos coagulantes e da mistura**

Visto que cada lixiviado de aterro tem suas próprias características, encontrou-se na literatura divergência significativa da quantidade de coagulante a ser utilizada. Kuhn e Reisdörfer (2015) utilizaram coagulantes orgânicos em proporções de 2,0 mL/L, enquanto Macruz (2015) encontrou resultado ótimo com o uso de 1100 mg/L de tanino.

Por isso, primeiramente, se testou duas faixas de quantidade de coagulante necessário, tanino – Tanfloc SG, para o tratamento da amostra, a primeira com 50 mg/L de coagulante e a segunda com 750 mg/L. Foram obtidos melhores resultados com 750 mg/L de coagulante, partindo-se daí a determinação das concentrações utilizadas no experimento.

Como a quantidade de amostra de lixiviado era limitada, optou-se por diluí-la em esgoto na proporção única de 50%, pois seria uma amostra mais próxima possível do lixiviado original e seria possível assim, testar maior número de concentração de coagulante.

Foram utilizados o coagulante orgânico, Tanfloc SG e o sulfato de alumínio, coagulante inorgânico. Ambos foram testados nas mesmas proporções de 750, 900, 1050, 1200, 1350 e 1500 mg/L.

### **Caracterização da mistura lixiviado-esgoto**

Foram realizadas análises de pH, cor e turbidez, antes e após o tratamento proposto, para a determinação da eficiência do tratamento. As análises foram realizadas utilizando pHmetro e espectrofotômetro Hach DR890.

### **Ensaio de coagulação/ floculação**

Os testes de coagulação/ floculação foram realizados em escala de bancada, no *Jar-Test*, Flocc Control II – Policontrol, com regulador de rotação das hastas misturadoras, em temperatura ambiente, foram utilizados seis béqueres de 2 litros para a realização dos ensaios, trabalhando-se com volume de 1 litro de mistura por béquer. Fixou-se para este experimento o tempo de 1 minuto para a mistura rápida a 120 rpm e 20 minutos para a mistura lenta a 60 rpm. Esses valores foram especificados pelo fabricante do *Jar-Test* e foram também utilizados por Pedroso (2012). Adotou-se um tempo de sedimentação de 30 minutos, após esse tempo foram recolhidas amostras do efluente tratado para as análises. Após mais 2 horas, foram medidas as quantidades de lodo sedimentado em cada jarro.

### **Análise estatística**

A partir dos dados encontrados, foi realizado um teste estatístico não-paramétrico, o teste de Wilcoxon, para provar que o resultado obtido significaria de fato uma melhora da qualidade do efluente tratado. O teste é uma extensão do teste dos sinais, porém ele leva em consideração a magnitude da diferença de cada par. Primeiro se determina a diferença entre os dois escores, no caso é a diferença do parâmetro medido antes e depois do uso do coagulante, atribui-se postos às diferenças, identifica-se cada posto pelo sinal positivo ou negativo, segundo a diferença que ele representa e então determina-se T como a menor soma dos postos de mesmo sinal, abatendo-se de n o número de zeros, ou seja, os pares em que a diferença é nula. Calcula-se a variável de cálculo, Z calculado, utilizando-se além de T, sua média e variância. A hipótese nula é testada

comparando-se o Z calculado com o Z tabelado, obtido através da tabela de distribuição normal padronizada para valores críticos de Z, sendo rejeitada caso Z calculado esteja nas regiões críticas de Z.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente foram realizadas as análises de pH, cor e turbidez do lixiviado bruto, do esgoto bruto e da mistura, 50% de esgoto bruto e 50% de lixiviado, obtendo-se os resultados apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1: Caracterização dos efluentes.**

Parâmetro	Esgoto bruto	Lixiviado bruto	Mistura
pH	6,9	8,1	8,1
Cor (uH)	368	5667	4462
Turbidez (uT)	40	781	373

A mistura utilizada em cada béquer do *jar test*, foi analisada antes de após o ensaio de coagulação/floculação seguido de sedimentação, conforme dados apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2: Cor e turbidez antes e após a aplicação dos coagulantes.**

Tanino vegetal							
Dosagem (mg/L)	750	900	1050	1200	1350	1500	
<b>Antes do tratamento</b>							
Cor (uH)	4220	4540	4420	4200	4600	4240	
Turbidez (uT)	367	371	356	354	361	356	
<b>Após o tratamento</b>							
Cor (uH)	3660	3660	3180	2780	2620	2420	
Turbidez (uT)	276	283	242	185	184	166	
Sulfato de Alumínio							
Dosagem (mg/L)	750	900	1050	1200	1350	1500	
<b>Antes do tratamento</b>							
Cor (uH)	4540	4300	4560	4420	4800	4700	
Turbidez (uT)	366	371	397	409	429	339	
<b>Após o tratamento</b>							
Cor (uH)	3360	2960	2920	2920	2760	2580	
Turbidez (uT)	272	203	198	170	170	157	

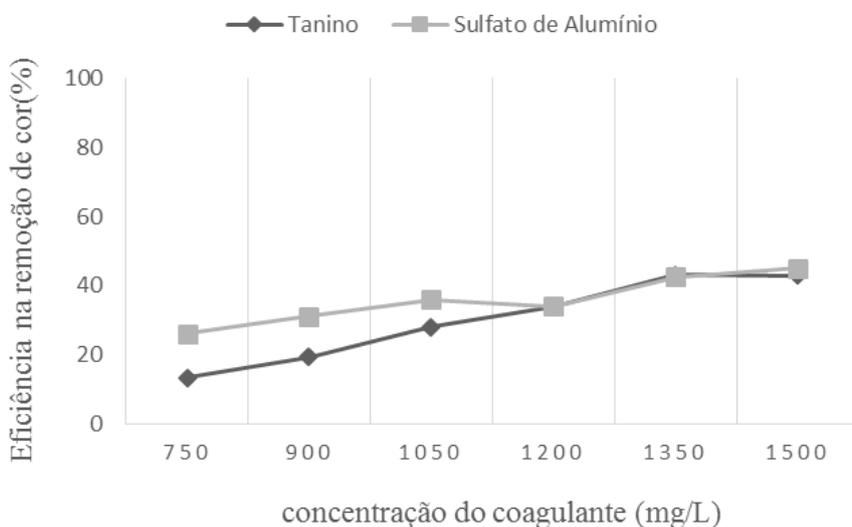
Após a coagulação com o tanino vegetal o pH se manteve entre 8,0 e 8,1, enquanto após a coagulação utilizando o sulfato de alumínio, o pH caiu para 7,8 nas três primeiras dosagens, até chegar à 7,3 na maior dosagem do coagulante.

O teste de Wilcoxon foi realizado para remoção de cor e turbidez, para os dois coagulantes utilizados. Visto que o Z calculado (2,20) foi maior que o Z tabelado (1,96), conclui-se com a um nível de confiança de 98%, que houve remoção tanto de cor, como de turbidez nas amostras para ambos os coagulantes utilizados.

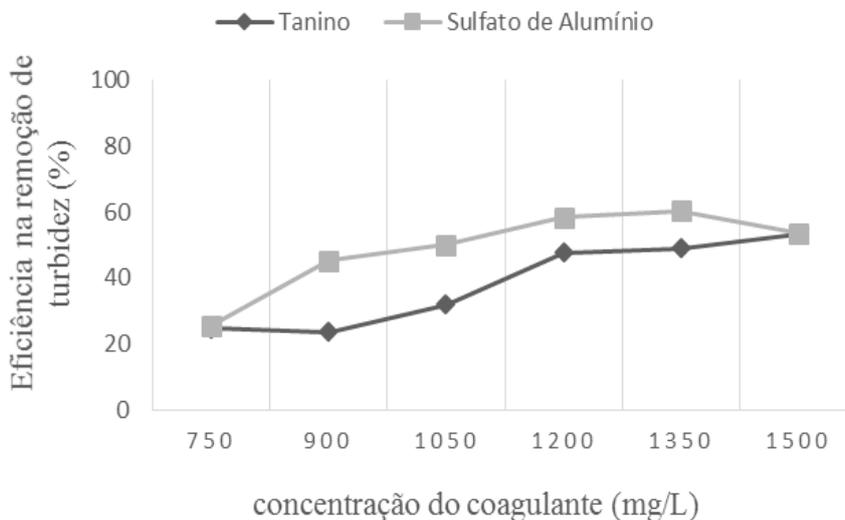
Quanto à eficiência do tratamento utilizado, Figuras 1 e 2, observa-se que o tanino promoveu redução da cor em até 43% e de turbidez em 53%, eficiências estas próximas às encontradas por Gewehr (2012) que utilizou o tanino como coagulante para o tratamento do lixiviado bruto do aterro sanitário central de resíduos do Recreio/Rio de Janeiro, ele usou concentrações de coagulante, inicialmente, variando entre 500 e 6000 mg/L e obteve para as concentrações até 1500 mg/L eficiência na remoção de cor entre 33% e 57%, e na remoção de turbidez entre 15% e 40%, semelhantes aos encontrados neste trabalho.

Pedroso (2012) utilizou o lixiviado bruto do aterro sanitário de Maringá/Paraná com o mesmo coagulante, o tanino, variando as concentrações entre 500 e 1500 mg/L e obteve maiores eficiências na remoção de cor e turbidez para a concentração de 1500 mg/L, sendo aproximadamente 60% para remoção de cor e 54% para remoção de turbidez, estes resultados também corroboram com os dados apresentados no experimento em estudo.

Apesar desses autores terem trabalhado com o lixiviado puro, a mistura do presente trabalho tem características que se assemelham às encontradas por esses autores.



**Figura 1: Eficiência na remoção de cor com o uso dos coagulantes tanino e sulfato de alumínio.**

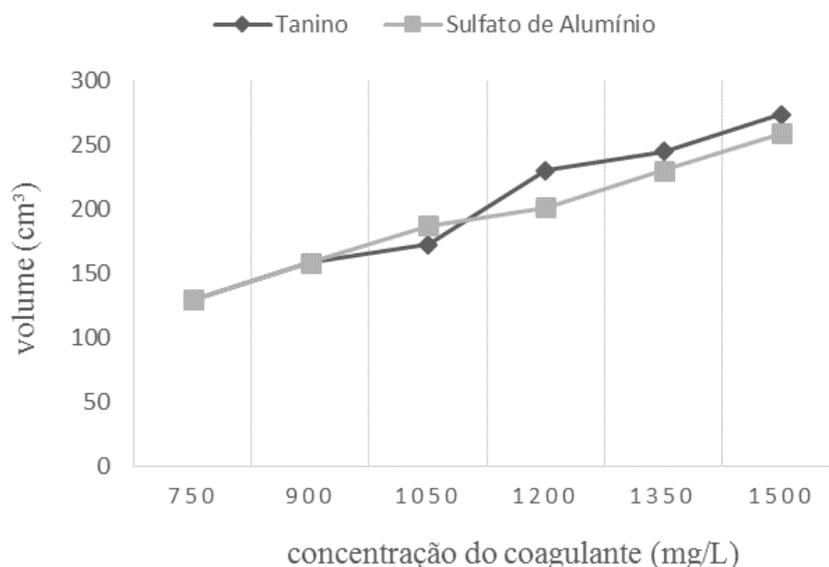


**Figura 2: Eficiência na remoção de turbidez com o uso dos coagulantes tanino e sulfato de alumínio.**

O sulfato de alumínio proporcionou remoção da cor entre 26% e 45% e turbidez entre 25% e 60%, resultado melhores do que os obtidos por Ferreira (2013), que utilizou o sulfato de alumínio em concentrações variando entre 400 e 1000 mg/L para a coagulação/floculação do lixiviado do centro de tratamento de resíduos de Gericinó e que para mesma faixa de pH (pH=8) obteve resultados de eficiência de remoção de turbidez entre 16% e 68%, sendo a menor eficiência para a concentração de 1000 mg/L.

Além da cor e da turbidez, foram medidos o volume de lodo produzido em cada béquer, após 2h30 de sedimentação. Na Figura 3 pode-se observar ínfima diferença entre a quantidade de lodo produzido com o uso dos diferentes coagulantes. Entretanto, vale ressaltar que, pelo fato do tanino vegetal ser coagulante orgânico, o lodo gerado por este coagulante não tem agregação de metais, diferentemente do tratamento por

sulfato de alumínio, que é coagulante químico, e que enriquece o lodo produzido com metais, em virtude da sua própria constituição do coagulante.



**Figura 3: Volume de lodo sedimentado de acordo com as dosagens de coagulantes.**

## CONCLUSÕES

O sulfato de alumínio e o tanino vegetal proporcionaram melhorias na qualidade do efluente, no que diz respeito aos parâmetros de cor e turbidez. No tratamento feito com coagulante de tanino, obteve-se eficiência na remoção de até 43% para cor e 53% para turbidez. Para o sulfato de alumínio, os valores máximos de remoção de cor e turbidez foram de até 45% e 60%, respectivamente.

Houve aumento da eficiência do tratamento realizado com o tanino de acordo com o aumento da dosagem utilizada, corroborando a necessidade de testar maiores concentrações até que haja decréscimo na eficiência do tratamento.

Para o sulfato de alumínio, ocorreu diminuição na eficiência de remoção de cor para a concentração de 1200 mg/L, mas que se elevou nas concentrações seguintes, descartando a hipótese de ser a concentração ótima para o efluente. No que se refere a valores de remoção de turbidez, com o sulfato de alumínio, a redução de eficiência ocorreu em 1500 mg/L. Assim é também necessária a realização de novos ensaios com concentrações maiores desse coagulante, para verificar se a tendência de decréscimo da eficiência com concentrações maiores que 1500 mg/L é verdadeira, e assim estabelecer a concentração ótima.

Além disso, o volume de lodo sedimentado para ambos os coagulantes tem relação praticamente linear com a concentração de coagulante utilizada. Ou seja, maiores concentrações de coagulantes resultaram em maior sedimentação do lodo, o que demonstra que a quantidade de lodo gerado está intimamente ligada com a eficiência do coagulante, já que se usou o mesmo efluente para cada concentração.

Tanto os valores de eficiência de remoção de cor e turbidez, quanto a análise do volume de lodo gerado, indicam a necessidade de se testar concentrações mais significativas de sulfato de alumínio e tanino, a fim de se determinar a concentração ótima de ambos para o efluente em estudo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Amostragem de Resíduos sólidos**. Rio de Janeiro. NBR 10.007. 2004. 21p.



2. ABLP. Revista Limpeza Pública. **Aterros Sanitários**, Publicação trimestral. n. 73, p. 60, 2010.
  
3. BORTOLAZZO, W. M. **Estimativa da produção de percolados no aterro sanitário de Nova Iguaçu com a aplicação de modelos computacionais**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.
  
4. BRASIL. 12305. Lei Nº 12305/2010 - “Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.”. 2010.
  
5. CHEIBUB, A. F.; CAMPOS, J. C.; FONSECA, F. V. DA. Removal of COD from a stabilized landfill leachate by physicochemical and advanced oxidative process. **Journal of Environmental Science and Health, Part A**, v. 49, n. 14, p. 1718–1726, 6 dez. 2014.
  
6. DEUSCHLE, J. **Otimização e comparação do coagulante sulfato de alumínio com coagulantes orgânicos para o tratamento de lixiviado de aterro sanitário bruto**. Cerro Largo: Universidade Federal da Fronteira Sul. 2016.
  
7. ELK, A. G. H. P. Redução de emissões na disposição final. *In: Mecanismo de desenvolvimento aplicado a resíduos sólidos*. Rio de Janeiro: IBAM, 2007.
  
8. FERREIRA, D. D. S. **Estudo Comparativo da Coagulação/Floculação e Eletrocoagulação no Tratamento de Lixiviado de Aterro**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.
  
9. GEWEHR, A. G. **Tratamento por Coagulação-Floculação de Lixiviado Bruto de Aterro Sanitário com e sem Pré-tratamento Biológico em Reator Sequencial em Batelada**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, jul. 2012.
  
- 10, GOMES, L. P. **Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras**. Rio de Janeiro: ABES, 2009. 360 p.
  
11. KUHN, D.; REISDÖRFER, G. Avaliação da eficiência da aplicação de coagulante orgânico em chorume para remoção de carga orgânica e nutrientes. **Tecno-Lógica**, v. 19, n. 2, p. 64–68, 16 jul. 2015.
  
12. LIBANIO, P. A. C. **Avaliação da eficiência e aplicabilidade de um sistema integrado de tratamento de resíduos sólidos urbanos e de chorume**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2002.
  
13. MACRUZ, P. D. **Avaliação do Tratamento do Chorume de Aterro Sanitário por Processo de Coagulação/Floculação com o Coagulante Tanino e Polocloreto de Alumínio (PAC)**. Campo Mourão: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.

14. MENEZES, I. S.; MENDONÇA, L. C. Avaliação do tratamento preliminar da estação de tratamento de efluentes do campus de São Cristóvão da Universidade Federal de Sergipe. **Scientia Plena**, v. 13, n. 10, 30 nov. 2017.
15. PEDROSO, K. **Avaliação do Tratamento do Lixiviado do Aterro Sanitário de Maringá, Paraná, por Processo de Coagulação/Floculação e Ozonização**. Maringá, Paraná: Universidade Estadual de Maringá, 2012.
16. SERAFIM, A. C.; GUSSAKOV, K. C.; SILVA, F.; CONEGLIAN, C. M. R.; BRITO, N. N.; DRAGONI SOBRINHO, G.; TONSO, S.; PELEGRINI, R. Chorume, impactos ambientais e possibilidades de tratamento. **III Fórum de estudos contábeis**, n. Faculdades Integradas Claretianas, 2003.
17. SERGIPE. **Plano Estadual de Resíduos Sólidos**. 2014, p. 627.
18. SILVA, C. B. DA. **Processo de coagulação/floculação com coagulantes naturais para o tratamento de lixiviado de aterro sanitário**. Cerro Largo: Universidade Federal da Fronteira Sul, 2016.