

## III-270 - PRÉ-TRATAMENTO DE LIXIVIADO ANTIGO DE ATERRO SANITÁRIO POR COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO: INFLUÊNCIA DO PH NO PROCESSO

**Mariana Maciel Almeida de Andrade**<sup>(1)</sup>

Bacharel em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal da Paraíba. Pós-Graduação em andamento em Sistema de Gestão Integrada da Qualidade, Meio Ambiente, Segurança e Saúde no Trabalho e Responsabilidade Social. Engenheira Ambiental na Prefeitura Municipal de Pesqueira.

**Camila de Almeida Porto**<sup>(2)</sup>

Bacharel em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal da Paraíba. Mestrado em andamento pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba.

**Elisângela Maria Rodrigues Rocha**<sup>(3)</sup>

Bacharel em Engenharia Sanitarista pela Universidade Federal do Pará. Mestre em Engenharia Civil/Geotecnia Ambiental pela Universidade Federal de Pernambuco. Doutora em Engenharia Civil/Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Ceará. Professora do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba

**Erika Lima Silva**<sup>(4)</sup>

Graduanda em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal da Paraíba

**Romildo Henriques dos Anjos Júnior**<sup>(5)</sup>

Técnico em Saneamento pelo Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Paraíba. Bacharel em Química pela Universidade Federal da Paraíba. Técnico no Laboratório de Saneamento Ambiental da Universidade Federal da Paraíba

**Endereço**<sup>(1)</sup>: Rua Gumercindo Saraiva Duque, 30 - Prado – Pesqueira - PE - CEP: 55200-000 - Brasil - Tel: (87) 3835-8729 - e-mail: [mariana\\_andrade\\_94@hotmail.com](mailto:mariana_andrade_94@hotmail.com)

### RESUMO

O tratamento físico químico é uma alternativa para os lixiviados de aterro sanitário antigos, para os quais o tratamento biológico, frequentemente aplicado, apresenta baixa eficiência. O presente trabalho buscou avaliar preliminarmente a influência do pH no processo de coagulação/floculação, com sulfato de alumínio ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ) e com cloreto férrico ( $\text{FeCl}_3$ ) no pré-tratamento do lixiviado bruto do Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa (ASMJP), do município de João Pessoa, PB-Brasil. Observou-se a variação do pH, provocada pela adição de 500, 800 e 1600 mg ( $\text{Al}^{2+} \cdot \text{L}^{-1}$  ou  $\cdot \text{Fe}^{3+} \cdot \text{L}^{-1}$ ). Foi também realizada a variação de pH, numa faixa de 3-10, para uma concentração fixa de 800 mg.L<sup>-1</sup> de ambos os coagulantes. Os parâmetros avaliados foram: remoção de cor e o volume de lodo gerado. Sem correção do pH inicial, o  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  se mostrou mais eficiente para a remoção de cor, atingindo 64,47%, para a maior concentração do referido coagulante, enquanto que, o  $\text{FeCl}_3$  apresentou apenas remoção de 37,36%. Os resultados mostraram ainda que, para a concentração fixa de 800 mg.L<sup>-1</sup>, o  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  foi mais eficiente na remoção de cor em uma faixa mais ampla de pH, e apresentou menor produção de lodo em meios ácidos. A realização dos ensaios preliminares permitiu a definição da melhor faixa de operação do pH no processo de coagulação/floculação do lixiviado bruto, para sua aplicação em escala real.

**PALAVRAS-CHAVE:** Lixiviado, tratamento físico-químico,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{FeCl}_3$ , pH.

### INTRODUÇÃO

As cidades brasileiras devem dispor seus resíduos sólidos de forma ambientalmente adequada, em aterros sanitários, conforme a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12305/10). Nesses locais, os resíduos são decompostos, dando origem a um líquido de coloração escura, denominado lixiviado, que possui características como uma constituição variada e complexa, com presença de elevadas concentrações de nitrogênio amoniacal e compostos orgânicos de difícil degradação (RENOU et al., 2008).

No lixiviado, estão presentes substâncias altamente solúveis, que o tornam capaz de percolar e atingir águas superficiais, ou ainda, infiltrar no solo, comprometendo as águas subterrâneas (BERTAZZOLI & PELEGRINI, 2002). A poluição das águas pelo lixiviado pode provocar endemias ou intoxicações, se houver a presença de

organismos patogênicos e substâncias tóxicas em níveis acima do permissível (SISINNO et al., 2000). Dentre os impactos causados pelo lixiviado ao meio, pode-se citar a toxicidade decorrente dos altos teores de amônia, a eutrofização resultante das altas concentrações de nitrogênio e a diminuição da quantidade de oxigênio dissolvido (FLECK, 2003).

O tratamento normalmente aplicado aos lixiviados nos aterros sanitários ocorre através de lagoas de estabilização, anaeróbias e facultativas. (OLIVEIRA, 2015; FREIRE et al.; 2000). No entanto, devido à presença de substâncias com estrutura química complexa e à interação dos compostos químicos presentes no efluente, os lixiviados são recalcitrantes, ou seja, dificilmente são degradados por processos biológicos (MORAIS, 2005; NASCIMENTO, 2013). Além disso, quanto mais antigo for o aterro, maior será sua recalcitrância, diminuindo ainda mais a eficiência do tratamento biológico (AMOKRANE et al., 1997; MANARÓN et al., 2008).

Uma alternativa para o tratamento de lixiviados antigos de aterro sanitário são os processos físico-químicos, como a coagulação e floculação, que podem remover metais pesados e compostos orgânicos não-biodegradáveis (SILVA, 2002; MÁXIMO, 2007; OLIVEIRA, 2015). A coagulação/floculação consiste em uma sequência de processos capazes de remover as partículas coloidais, que conferem cor e turbidez ao líquido, pela ação de substâncias denominadas coagulantes (NOVELO et al., 2004).

A coagulação consiste na desestabilização de partículas em suspensão coloidal obtida pela neutralização de forças elétricas superficiais e redução das forças repulsivas entre elas (PAVANELLI, 2001; SILVA et al., 2014). Enquanto a floculação consiste em uma etapa de agitação lenta, na qual é provocada a colisão das partículas, produzindo partículas de maior volume e densidade, chamadas de flocos (GEWEHR, 2012; MAXIMO, 2007).

A formação de bons flocos depende de fatores como: concentração adequada de coagulante, temperatura, alcalinidade, grau de mistura, intensidade da turbulência e pH da reação (SANTOS, 2011; MADRONA, 2010). De acordo com Richter (2009) e Felici (2010), a determinação do pH ideal constitui um fator importante para o processo de coagulação/floculação, pois a coagulação com sais de ferro e alumínio ocorre satisfatoriamente apenas em um pH ótimo e na presença de uma alcalinidade mínima para que aconteçam as reações químicas necessárias.

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar preliminarmente a influência do pH no processo de coagulação/floculação, com sulfato de alumínio  $Al_2(SO_4)_3$  e com cloreto férrico  $FeCl_3$  no pré-tratamento do lixiviado bruto do Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa (ASMJP), do município de João Pessoa, PB-Brasil.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **COLETA E CARACTERIZAÇÃO DO LIXIVIADO BRUTO**

O lixiviado foi coletado na saída das células de disposição de resíduos do ASMJP, que está em operação desde 2003. É importante ressaltar que o lixiviado foi coletado antes de sua entrada no sistema de tratamento biológico realizado pelo aterro.

Após a coleta, realizada em outubro de 2016, o lixiviado foi caracterizado através da determinação dos parâmetros: pH, turbidez, condutividade, alcalinidade total, amônia, cloretos, DBO<sub>5</sub>, DQO e série de sólidos, seguindo os procedimentos descritos no *Standard Methods for the Examination of Wastes and Wastewater* (APHA, 2005).

### **ENSAIOS DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO: INFLUENCIA DO pH**

Com o intuito de analisar o comportamento do lixiviado quanto a adição dos coagulantes, foram realizados experimentos utilizando volume de amostra de 100 mL, com agitação manual e temperatura ambiente.

Primeiramente, observou-se qual a variação natural de pH no efluente após a adição de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  e  $\text{FeCl}_3$ , individualmente, nas concentrações de: 1600, 800 e 500 mg ( $\text{Al}^{2+} \cdot \text{L}^{-1}$  ou  $\cdot \text{Fe}^{3+} \cdot \text{L}^{-1}$ ) com base em Manarón *et al.* (2008). Após 1h de sedimentação, verificou-se o pH final do lixiviado, e a remoção de cor das amostras tratadas por cada coagulante.

Em seguida, adotou-se tanto para o  $\text{Al}^{2+}$ , como para o  $\text{Fe}^{3+}$ , uma concentração fixa de 800  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$  para que fosse possível observar a influência do pH na eficiência do processo de coagulação/floculação do lixiviado bruto. A partir desta concentração, foi ajustado o pH, em uma faixa entre 3-10. Após, o tempo de sedimentação de 1h, foram avaliados a remoção de cor e o volume de lodo formado para cada amostra estudada.

## RESULTADOS

### CARACTERIZAÇÃO DO LIXIVIADO BRUTO

O lixiviado utilizado na pesquisa provém de um aterro antigo, em operação há mais de 13 anos. Em virtude disso, as características observadas (Tabela 1) são típicas de lixiviados maduros, como  $\text{pH} > 7$ ,  $\text{DQO} < 5000 \text{mg} \cdot \text{O}_2 \cdot \text{L}^{-1}$  e razão  $\text{DBO}_5/\text{DQO} < 0,1$  (AMOKRANE *et al.*, 1997). Essas características refletem a recalcitrância do lixiviado, o que torna o tratamento biológico, tradicionalmente utilizado, pouco eficaz. Devido a esse fator, bem como a elevada alcalinidade total do efluente, a aplicação de tratamentos físico-químicos como a coagulação/floculação é favorecida.

**Tabela 1: Caracterização do lixiviado bruto do ASMJP coletado em out./2016**

Parâmetros	Valores
pH	8,03
Cor ( $\text{mg} \cdot \text{Pt} \cdot \text{Co} \cdot \text{L}^{-1}$ )	8233
Turbidez (NTU)	293,67
Condutividade ( $\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ )	21,39
Alcalinidade Total ( $\text{mg} \text{CaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$ )	11925,00
Amônia ( $\text{mg} \text{N} \cdot \text{NH}_3 \cdot \text{L}^{-1}$ )	2367,50
Cloretos ( $\text{mg} \text{Cl} \cdot \text{L}^{-1}$ )	3388,48
$\text{DBO}_5$ ( $\text{mg} \text{O}_2 \cdot \text{L}^{-1}$ )	322,67
DQO ( $\text{mg} \text{O}_2 \cdot \text{L}^{-1}$ )	4791,16
$\text{DBO}_5/\text{DQO}$	0,07
Sólidos Totais ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	12980,00
Sólidos Totais Voláteis ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	3223,33
Sólidos Totais Fixos ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	9756,67

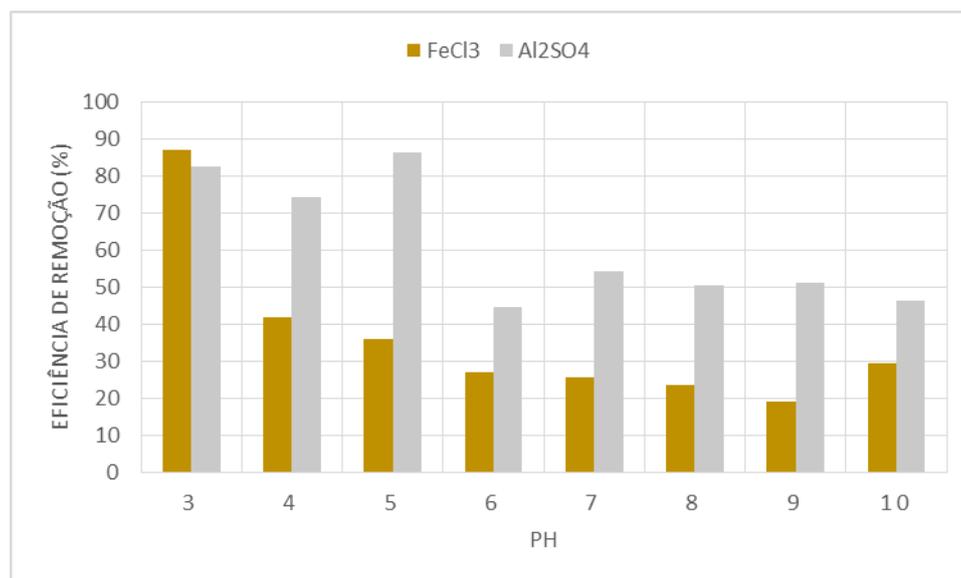
### ENSAIOS DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO: INFLUENCIA DO pH

Na Tabela 2, estão apresentados os valores de pH final e a remoção de cor após a adição dos coagulantes nas concentrações de 500, 800 e 1600  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ . Vale ressaltar que o pH inicial do lixiviado bruto foi de 8,03, com este pH natural, o lixiviado apresentou maior resistência à variação do pH quando houve adição do  $\text{FeCl}_3$ . Como consequência disso, observou-se que sem correção inicial de pH, nas 3 concentrações estudadas, o  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  provocou uma maior precipitação de compostos que afetam diretamente a coloração do lixiviado bruto, quando comparado com o  $\text{FeCl}_3$ . Isso ocorreu porque com a adição do  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ , o pH da mistura caiu para valores dentro de sua faixa ideal de operação (5 e 7), conforme Richter (2009).

**Tabela 2: Eficiência de remoção de cor e pH final das amostras de lixiviado após a adição de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  e  $\text{FeCl}_3$**

[Conc.] ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$		$\text{FeCl}_3$	
	pH	Remoção de cor (%)	pH	Remoção de Cor (%)
500	6,97	23.44	7,53	16.12
800	6,77	46.15	7,21	24.18
1600	6,33	64.47	6,83	37.36

Na Figura 1, pode-se observar a eficiência de remoção de cor, para a concentração fixa dos coagulantes de  $800 \text{ mg.L}^{-1}$  e variação do pH no intervalo 3-10. Observou-se que, nas amostras que utilizaram o coagulante  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  foram obtidas melhores remoções para a maioria da faixa de pH testado, com exceção do pH 3. Observou-se ainda que para o  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ , a melhor faixa de atuação para este lixiviado foi entre pH 3-5, diferentemente do relatado por Richter (2009), que define que o pH ótimo para o processo de coagulação/floculação com o referido coagulante seria de 5-7. O  $\text{FeCl}_3$  atuou melhor em pH 3, corroborando os resultados de Felici *et al.* (2013), contudo, observou-se que as eficiências decaíram ao longo da elevação do pH.



**Figura 1:** Eficiência de remoção de cor do lixiviado bruto utilizando  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  e  $\text{FeCl}_3$  na concentração de  $800 \text{ mg.L}^{-1}$  - faixa de pH 3 a pH 10.

Além de apresentar melhor eficiência de remoção de cor para uma ampla faixa de pH (4 a 10), o  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ , sem a aplicação de condições de mistura, resultou em menor produção de lodo em meios ácidos (pH 3, 4 e 5) (Figura 2). Contudo, deve-se considerar que o lodo gerado pelo cloreto férrico é de mais fácil manipulação que o produzido pelo sulfato de alumínio, por ser mais denso e mais suscetível à desidratação (FRANCO, 2009).



**Figura 2** – Lodo formado após processo de coagulação/floculação utilizando os coagulantes:  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  (A) e  $\text{FeCl}_3$  (B), após o tempo de sedimentação de 1 hora.

Embora os resultados apresentados tenham apontado o  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  como mais eficiente que o  $\text{FeCl}_3$  para a coagulação/floculação do lixiviado bruto do ASMJP, deve-se lembrar que nos experimentos aqui apresentados não foram consideradas as condições de mistura. A aplicação destas possibilita um contato uniforme entre as partículas do efluente e do coagulante, auxiliando a formação de flocos. Esses testes serviram como base para a realização de experimentos posteriores, do grupo de pesquisa em Fotocatálise solar, associando a aplicação de planejamento experimental para melhor compreensão do processo a partir de uma análise multivariada (dados não apresentados).

## CONCLUSÕES

Com este estudo, verificou-se que, o processo de coagulação/floculação do lixiviado bruto apresenta um bom desempenho apenas em determinadas faixas de pH. Apesar da adição de ambos os coagulantes ter sido eficiente para a remoção de cor do lixiviado bruto aqui testado, este apresentou maior reação na presença de sulfato de alumínio, uma vez que no experimento no qual o pH inicial foi fixo, houve maior variação deste parâmetro para o  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ , que para o  $\text{FeCl}_3$ . Além de ter apresentado maior eficiência para uma faixa ampla de pH (4-10) com a concentração inicial dos coagulantes fixa.

A realização dos ensaios foi importante para que seja definido uma quantidade mínima de reagentes e as faixas de operação das variáveis que podem apresentar melhores resultados quando aplicadas em escala real. Para uma otimização dos resultados aqui apresentados, faz-se necessário avaliar, além do pH e concentração, outras variáveis como as velocidades de mistura e o tempo de agitação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMOKRANE, A.; COMEL, C.; VERON, J. *Landfill leachate pre-treatment by coagulation–floculation*. Water Resources, v. 31, n. 11, p. 2775–2782, Abr., 1997.
2. APHA, AWWA, WEF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 19ª Ed. American Public Health Association, Washington, DC, 2005.
3. BERTAZZOLI, R.; PELEGRINI, R. *Descoloração e degradação de poluentes orgânicos em soluções aquosas através do processo fotoeletroquímico*. Química Nova, v. 25, n. 3, p. 477-482, Mai, 2000.
4. FELICI, E. M. *Coagulação-floculação-sedimentação como pós-tratamento de efluente de sistema biológico em batelada aplicado a lixiviado de aterro de resíduos sólidos urbanos*. Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 2010.

5. FELICI, E. M.; KURODA, E. K.; YAMASHITA, F.; SILVA, S. M. C. P. *Remoção de carga orgânica recalcitrante de lixiviado de resíduos sólidos urbanos pré-tratado biologicamente por coagulação química-floculação-sedimentação*. Eng Sanit Ambient, v.18, n.2, p. 177-184, Abr./Jun. 2013.
6. FLECK, E., Sistema integrado por filtro anaeróbio, filtro biológico de baixa taxa e banhado construído aplicado ao tratamento de lixiviado de aterro sanitário. 2003. 323p. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
7. 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. Ouro Preto, 2009. Dissertação de mestrado – Instituto de Ciências Exatas e Biológicas – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.
8. FREIRE, R. S.; PELEGRINI, R.; KUBOTA, L. T. DURAN, N. *Novas tendências para o tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas*. Química Nova. v. 23, n. 4, p. 504-511, Jan., 2000.
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. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2012.
10. MADRONA, G. S. Estudo da extração/purificação do composto ativo da semente da Moringa oleifera lam e sua utilização no tratamento de água de abastecimento. Maringá 2010. Tese de Doutorado - Engenharia Química - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2010.
11. MARAÑÓN, E.; CASTRILLON, L.; FERNANDEZ-NAVA, Y.; FERNANDEZ-MENDEZ, A.; FERNANDEZ-SANCHEZ, A. *Coagulation-flocculation as a pretreatment process at a landfill leachate nitrification-denitrification plant*. Journal of Hazardous Materials, v. 156, p. 538-544, Jan., 2008.
12. MÁXIMO, V. A. Tratamento por coagulação-floculação dos lixiviados gerados no aterro da região metropolitana de Florianópolis. 186 p., Dissertação de Mestrado - Engenharia Ambiental - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.
13. MORAIS, J L. Estudo da Potencialidade de Processos Oxidativos Avançados, Isolados e Integrados com Processos Biológicos Tradicionais, para Tratamento de Chorume de Aterro Sanitário 2005. 229 p. Tese de doutorado – Programa de Pós-graduação em Química - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.
14. NASCIMENTO, I.O.C. Avaliação do processo de coagulação-floculação de lixiviado de aterro sanitário pré-tratado biologicamente utilizando quitosana e sulfato de alumínio como coagulantes. 2013. 151p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica, Salvador, 2013
15. NOVELO, R. M.; BORGES, E. C.; RIANCHO, M. R. S.; FRANCO, C. Q.; VALEJOS, G. G., MEIJA, G. J. *Tratamiento físicoquímico de los lixiviados de un relleno sanitario*. Ingeniería v. 8, n. 2, p. 155-163, Mai-Ago, 2004.
16. OLIVEIRA, Z. L. Lixiviado de aterro sanitário tratados com extratos de moringa oleífera Lam isolados e combinados com abelmoschus esculentus L.Moench e biossurfactante. 2015. 166p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Recife, 2015.
17. PAVANELLI, G. Eficiência de diferentes tipos de coagulantes, na coagulação, floculação e sedimentação e água com cor e turbidez elevada. Dissertação de Mestrado – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.
18. RENOU, S., GIVAUDAN, J. G., POULAIN, S., DIRASSOUYAN, F., MOULIN, P. *Landfill leachate treatment: Review and opportunity*. Journal of Hazardous Materials, v. 150, p. 468-493, Fev., 2008.
19. RICHTER, C. A. *Água: métodos e tecnologias de tratamento*. São Paulo: Edgard Blucher. 340 p. 2009.
20. SANTOS, G.R. Estudo de Clarificação de Água de Abastecimento Público e Otimização da Estação de Tratamento de Água. 2011. 101p. Dissertação de Mestrado - Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Rio de Janeiro, 2011.
21. SILVA, E. M. S.; SILVA, A. C.; RIBEIRO, A. S.; CRUZ, S. H. *Uso do quiabo (Abelmoschus esculentus) como floculante na desestabilização de emulsões óleo/água*. HOLOS, ano 30, v.3 - Edição Especial - XXV ENTMME / VII MSHNT, p. 256-263, Jul, 2014.
22. SISINNO, C. L.; OLIVEIRA-FILHO, E. C.; DUFRAYER, M. C.; MOREIRA, J.C.; PAUMGARTTEN, F. J. *Toxicity evaluation of a municipal dump leachate using zebrafish acute test*. Bulletin Environmental Contamination and Toxicology, v. 64, p. 107–113, 2000.