

### III-070 - PRÉ-TRATAMENTO DO LIXIVIADO DE UM LIXÃO NO NORDESTE DO BRASIL COM DISPERSÃO DE MORINGA OLEIFERA

**Osmar Luiz Moreira Pereira Fonseca de Menezes<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Ceará (UFC) - *Campus* Cariri. Mestrando em Engenharia Civil - Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

**Fernando José Araújo da Silva**

Doutor, Mestre e Graduado em Engenharia Civil. Professor Adjunto na UFC e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Pós-DEHA/UFC.

**Maria Gorethe de Sousa Lima**

Doutora em Engenharia de Processos, Mestre em Engenharia Civil (Recursos Hídricos/Saneamento) e Engenheira Química. Professora Adjunta na UFCA e do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável (PRODER/UFCA).

**Yanna Camila Vieira Roque**

Engenheira Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), *Campus* de Juazeiro do Norte.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Laboratório de Saneamento Ambiental, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Av. Acadêmico Hélio Ramos, s/n. Cidade Universitária, Recife, PE. CEP: 50740-530, Brasil. Tel: +55(81)21268229 - Fax: +55(81)21268219 - E-mail: osmarluizmpfm@hotmail.com

#### RESUMO

Este estudo comparou as eficiências do uso de sementes de *Moringa oleifera* com o uso de cloreto férrico e sulfato de alumínio na coagulação-floculação do lixiviado do lixão de Juazeiro do Norte, Nordeste do Brasil. O procedimento se deu em escala laboratorial, em um aparelho de *jar-test* com paletas planas. Foram testadas as dosagens de 1.500, 2.500 e 3.500 mg/l de cada coagulante. Os parâmetros monitorados foram: demanda química de oxigênio (DQO), turbidez, cor aparente, sólidos totais, fixos e voláteis, pH, alcalinidade e potencial de oxirredução. No lixiviado bruto, predominaram características de material jovem, com DQO média de 20.546 mg/l. A dosagem de 3.500 mg/l de *Moringa oleifera* atingiu a maior remoção de turbidez (44,3%). A coagulação com sementes de moringa alterou inexpressivamente o pH e a alcalinidade teve menor consumo em comparação com os coagulantes convencionais. Nos demais coagulantes, ocorreu queda de pH até a faixa ácida. Reconhecidamente, as sementes de *Moringa oleifera* têm como vantagem o baixo custo de aquisição e a reduzida produção de lodo. Além disso, a parcela de coagulante que precipita é biodegradável. Nos testes de dosagem, apresentou eficiência na mesma faixa das demais opções estudadas, mas com pequeno consumo de alcalinidade e alteração mínima de pH. É, portanto, uma alternativa atrativa econômica e ambientalmente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Chorume. Coagulação-floculação. Sementes de *Moringa oleifera*.

#### INTRODUÇÃO

Chorume, lixiviado de aterro ou de lixão é o líquido resultante da infiltração de água de chuva na massa de lixo combinada com os processos bioquímicos de degradação e com a água componente dos resíduos (CHRISTENSEN *et al.*, 2001; WISZNIEWSKI *et al.*, 2006; RENOU *et al.*, 2008; MAHMUD, HOSSAIN, SHAMS, 2012). O chorume tem normalmente odor forte e aparência escura, ou amarelada, em alguns casos. A formação do lixiviado se dá quando a umidade no lixo ultrapassa sua capacidade de retenção, ou capacidade de campo. A passagem da água dissolve sólidos e carrega material particulado e líquidos insolúveis, como os óleos. O resultado é uma fase líquida composta de matéria orgânica biodegradável e refratária, nitrogênio amoniacal, metais pesados, organoclorados, sais inorgânicos e compostos xenobióticos (EL-FADEL *et al.*, 2002; TATSI *et al.*, 2003; SALEM *et al.*, 2008).

A qualidade do chorume sofre mudanças abruptas à medida que o conteúdo orgânico se estabiliza, conforme a Tabela 1. Um tratamento eficiente durante os primeiros anos do aterro pode se tornar inaceitável em fases mais avançadas de degradação, o que é um desafio para o sistema de controle ambiental (CHRISTENSEN *et al.*, 2001; MAHMUD *et al.*, 2012).

**Tabela 1: Classificação do aterro quanto à idade**

Indicadores	Jovem	Intermediário	Velho
Idade (anos)	< 5	5 - 10	> 10
pH	< 6,5	6,5 - 7,5	> 7,5
DQO (mg/l)	> 10.000	4.000 – 10.000	< 4.000
DBO/DQO	> 0,3	0,1 - 0,3	< 0,1
Biodegradabilidade	Alta	Média	Baixa

Fonte: Chian e DeWalle (1976) *apud* Renou *et al.* (2008).

Tatsi *et al.* (2003) afirmam que nenhuma opção de tratamento de lixiviado sozinha é capaz de produzir um efluente com qualidade aceitável. O tratamento físico-químico de lixiviado tem potencial para remover componentes de diversas naturezas, como sólidos suspensos, colóides e substâncias tóxicas. Geralmente, é recomendado para lixiviados em fase razoável de estabilização. O emprego de pré-tratamento físico-químico reduz as concentrações de matéria recalcitrante e tóxica, além de possibilitar um posterior tratamento biológico. Uma alternativa pode ser considerada é a recirculação, que reinsere nutrientes na massa de lixo e minimiza o tempo de estabilização dos resíduos (RAFIZUL; ALAMGIR, 2012). Entretanto, a recirculação exagerada pode causar saturação, empoçamento e acidificação capaz de inibir a metanogênese ( $\text{pH} < 5$ ) (ŠAN; ONAY, 2001). Os valores de alcalinidade e potencial de oxirredução que otimizam o processo metanogênico estão acima de 2000  $\text{mgCaCO}_3/\text{l}$  e inferiores -300 mV, respectivamente (BILGILI; DEMIR; ÖZKAYA, 2007).

Tatsi *et al.* (2003) também indicam que não apenas lixiviados maduros ou estabilizados por tratamento biológico podem ser tratados físico-quimicamente. Os autores observaram uso satisfatório da coagulação-floculação em lixiviados jovens, com baixo pH, alto conteúdo orgânico, mas biodegradabilidade inferior à comumente observada. Esta etapa tem como objetivo remover matéria orgânica refratária e compostos tóxicos, como metais pesados e excesso de nitrogênio. Torna-se, então, viável recircular o efluente no aterro ou encaminhá-lo para uma unidade aeróbia ou anaeróbia.

As desvantagens do tratamento físico-químico com coagulação-floculação são a produção relativamente alta de lodo, o consumo de alcalinidade e o aumento na concentração de metais no lixiviado. Assim, o emprego de biocoagulantes pode minimizar tais desvantagens. Dispersões de sementes de *Moringa oleifera* são amplamente empregadas no tratamento de águas para consumo e efluentes em países em desenvolvimento, por conta de suas vantagens econômicas. Têm grande potencial de remoção de turbidez e são capazes de substituir as soluções de sais metálicos geralmente aplicadas (NDABIGENGESERE; NARASIAH, 1998a e 1998b).

A eficiência da *Moringa oleifera* é favorecida por altos valores de turbidez na água a ser tratada (KATAYON *et al.*, 2006). Isto é um ponto positivo frente a efluentes como o chorume. Mesmo assim, o tratamento de lixiviado com biocoagulantes ainda é tema pouco explorado. Apenas recentemente, Sivakumar (2013) publicou um esboço da coagulação de lixiviado de aterro com dispersões de moringa. O autor trabalhou com resíduos bem jovens (6 meses) e produziu o chorume em laboratório pela inserção de água destilada. O material gerado acabou por ter DQO muito baixa (12,4 mg/l). O grande ganho do estudo foi a observação de que o processo não é tão independente do pH e os resultados indicaram maiores remoções de DQO com pH na faixa neutra.

O escopo do presente estudo foi avaliar o potencial de um lixiviado, proveniente de um lixão no Nordeste do Brasil, sob clima semi-árido, a ser pré-tratado com dispersão preparada com sementes de *Moringa oleifera*. Para tal, a eficiência foi comparada com a de processos utilizando coagulantes tradicionais.

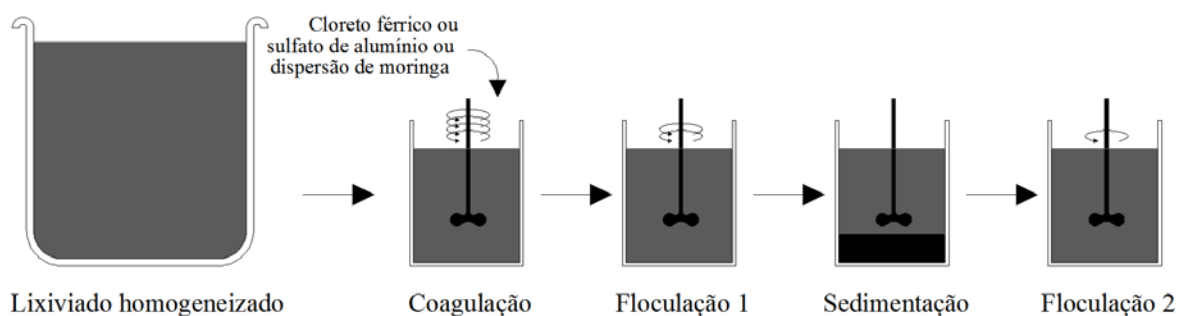
## MATERIAIS E MÉTODOS

O lixão se localizava em Juazeiro do Norte, Ceará, Brasil. As coordenadas geográficas do lixão eram: 7° 09' 18" sul e 39° 18' 40" oeste. O terreno distava cerca de 6 km do centro urbano e estava localizado à margem da Rodovia CE 060. A Figura 2 mostra o avanço da área ocupada ao longo dos anos. Em fevereiro de 2013, o lixão abrangia uma área de aproximadamente 113.400 m<sup>2</sup>.



**Figura 1: Avanço do lixão de Juazeiro do Norte, Ceará, de 2001 a 2013.**

O lixiviado foi coletado no primeiro semestre de 2013 e armazenado a 4 °C. Os experimentos com coagulação e floculação se deram entre 28 de agosto e 24 de setembro de 2013. A sequência do tratamento físico-químico do lixiviado do estudo é ilustrada na Figura 2. A coagulação-floculação foi reproduzida em um *Jar Test*, para o qual se ajustou uma curva rotação da paleta (rpm) x gradiente de velocidade ( $G$  em  $s^{-1}$ ), conforme descrito na NBR 12216/1992. A coagulação se deu em 5s e 260 rpm ( $760,1 s^{-1}$ ), a primeira e segunda etapas da floculação ocorreram ao longo de 15 minutos cada e a 50 rpm ( $64,1 s^{-1}$ ) e 30 rpm ( $29,8 s^{-1}$ ), respectivamente. A etapa de sedimentação durou 1 hora.



**Figura 2: Sequência do tratamento físico-químico em ensaio de Jar-test.**

Foram empregados como coagulantes, uma dispersão de sementes de *Moringa oleifera*, e soluções de dois sais hidratados:  $F_eCl_3 \cdot 6H_2O$  (cloreto de ferro III) e  $Al_2(SO_4)_3 \cdot (14-18)H_2O$  (sulfato de alumínio). As dosagens testadas no tratamento foram: 1.500, 2.500 e 3.500 mg/l.

A metodologia de preparação da dispersão coagulante foi adaptada de Katayon *et al.* (2006). As sementes de *Moringa oleifera* foram coletadas em Juazeiro do Norte. Realizou-se uma triagem rápida durante o descasque



manual, na qual as sementes com mal aspecto foram rejeitadas. O material foi triturado por 5 min em um liquidificador comum e peneirado numa malha #50 (0,3 mm). Dispersou-se este pó em água destilada, numa concentração de 100 g/l.

A cada ciclo de ensaios, o afluente e os efluentes dos jarros foram caracterizados quanto aos seguintes parâmetros: sólidos totais, fixos e voláteis, demanda química de oxigênio (DQO), turbidez (TUR), cor aparente, pH, potencial de oxirredução e alcalinidade. Os procedimentos analíticos seguiram os métodos descritos em APHA (2012). Os resultados foram avaliados pelas eficiências de remoção de cada poluente e alterações nos valores de pH, alcalinidade e potencial de oxirredução.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização físico-química do lixiviado não tratado está na Tabela 2. Os intervalos de DQO e potencial de oxirredução observados são próprios de lixiviados jovens, com acidogênese predominante. A composição do solo e os resíduos de construção civil codispostos no lixão podem elevar a alcalinidade. A alcalinidade total observada para o lixiviado bruto foi muito alta, com manutenção de um pH elevado. Quanto ao potencial de oxirredução, os valores observados estão acima da faixa de metanogênese (< -300 mv), mais um indicativo da atividade acidogênica.

**Tabela 2: Caracterização físico-química do lixiviado bruto (n = 5).**

Parâmetros	Média	CV <sup>(1)</sup>	Mínimo	Máximo
DQO (mg/l)	20.546	0,07	18.298	22.404
TUR (uT)	606	0,16	528	793
Cor (uC)	15.147	0,13	11.619	17.125
ST (mg/l) <sup>(2)</sup>	27.932	0,10	24.700	31.962
SV (mg/l) <sup>(3)</sup>	15.631	0,18	12.400	19.755
SF (mg/l) <sup>(4)</sup>	12.301	0,04	11.500	13.000
pH	7,6	0,03	7,3	7,9
Potencial de oxirredução (mV)	-166	0,05	-179	-158
Alcalinidade total (mgCaCO <sub>3</sub> /l)	5.578	0,08	4.796	6.012

<sup>(1)</sup>Coeficiente de variação (desvio padrão/média)

<sup>(2)</sup>Sólidos totais

<sup>(3)</sup>Sólidos fixos

<sup>(4)</sup>Sólidos voláteis

A Figura 3 mostra as alterações de pH provocadas pelo tratamento físico-químico. O cloreto férrico e o sulfato de alumínio tiveram o mesmo comportamento e reduziram o pH para valores inferiores a 7. Quanto maior a dosagem aplicada, maior foi a redução de pH. Nenhuma redução, entretanto, foi tão brusca a ponto de tornar o pH inferior a 5, o que limitaria a atividade metanogênica de um possível tratamento anaeróbico posterior. Ao contrário dos demais reagentes, a coagulação com Moringa não alterou significativamente o pH, mantendo-o acima da faixa neutra.

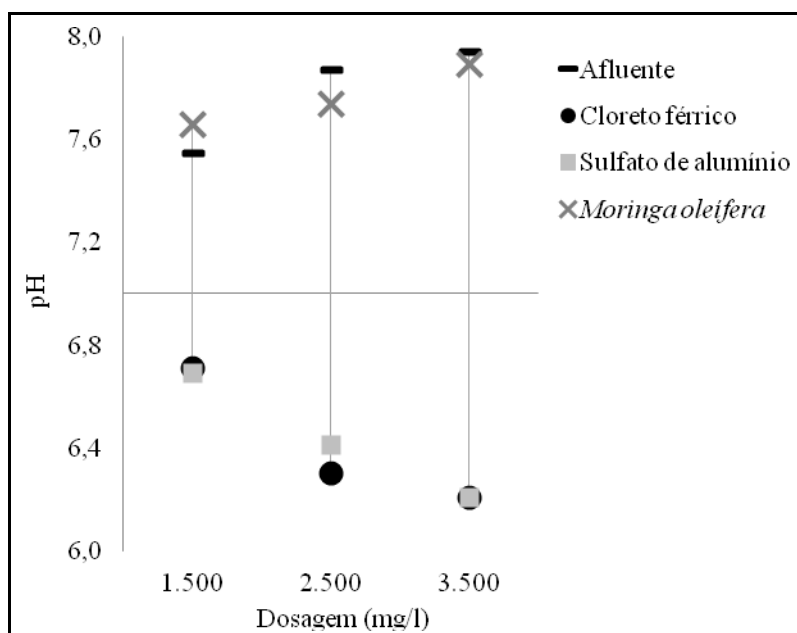


Figura 3: Alterações de pH com tratamento físico-químico do lixiviado.

Para alcalinidade (Figura 4), observou-se consumo de cerca de 41,5% de alcalinidade com 3.500 mg/l sulfato de alumínio e cloreto férrico. A coagulação com Moringa, entretanto, consumiu 18% de alcalinidade, ocorrido com 1.500 mg/l. Os valores de alcalinidade inicial foram bem altos e, mesmo depois da coagulação, continuaram maiores que 3.000 mgCaCO<sub>3</sub>/l. As reduções registradas não representariam, portanto, nenhum dano a um tratamento biológico posterior. A alcalinidade disponível elimina a necessidade de adição de um agente alcalinizante antes da coagulação.

O controle do pH pode resultar em alto custo em razão da grande demanda de reagente e da intensificação da produção de lodo. Ainda assim, esta prática é muito comum no tratamento de água. Mesmo nas maiores dosagens, a diminuição do pH foi relativamente sutil, devida à alta capacidade de tamponamento do meio.

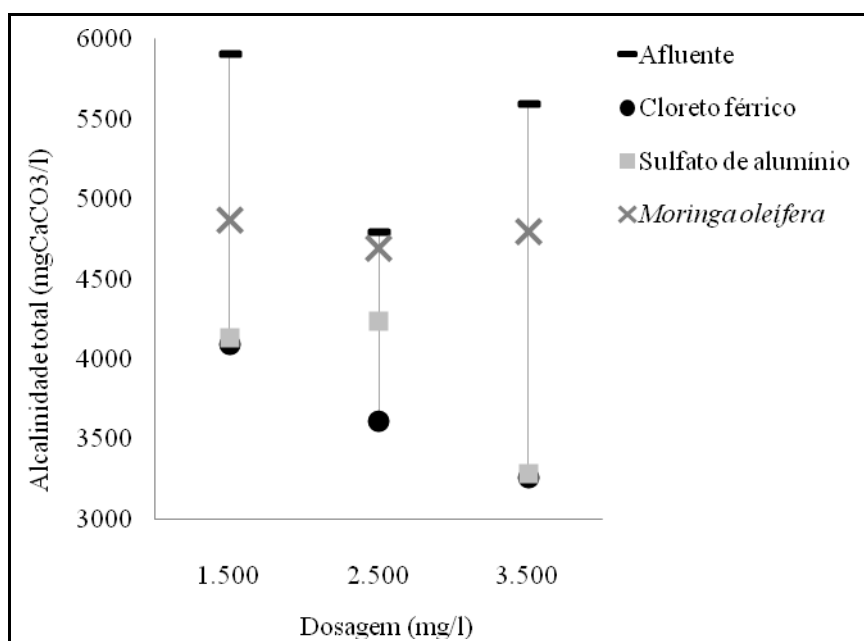
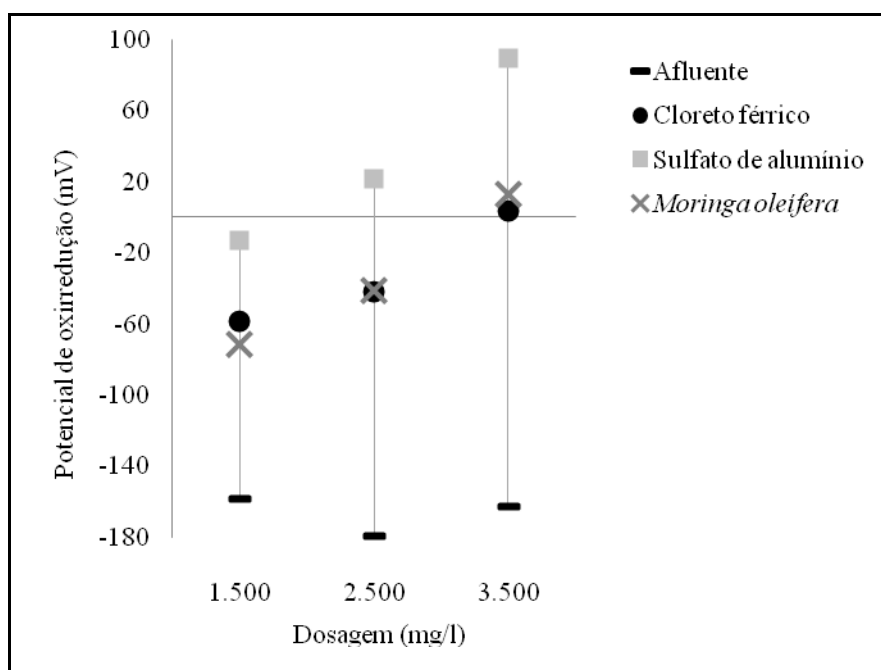


Figura 4: Alterações na alcalinidade total com tratamento físico-químico do lixiviado.

O potencial de oxirredução (Figura 5) não seguiu a tendência do pH e da alcalinidade e teve comportamento bem distinto entre os dois sais coagulantes. Cloreto férrico e a dispersão de *Moringa* apresentaram resultados análogos e só na maior dosagem testada elevaram o potencial de oxirredução até a faixa de oxidação (positiva). O ambiente redutor estabelecido foi modificado fortemente, entretanto, pela aplicação de sulfato de alumínio. Em 3.500 mg/l, o sal elevou o potencial de oxirredução até 89 mV, mais alto valor registrado. Maiores dosagens acompanharam maiores elevações. Cabe ressaltar que possivelmente parte do aumento do potencial de oxirredução está relacionado com a agitação da paleta no líquido.

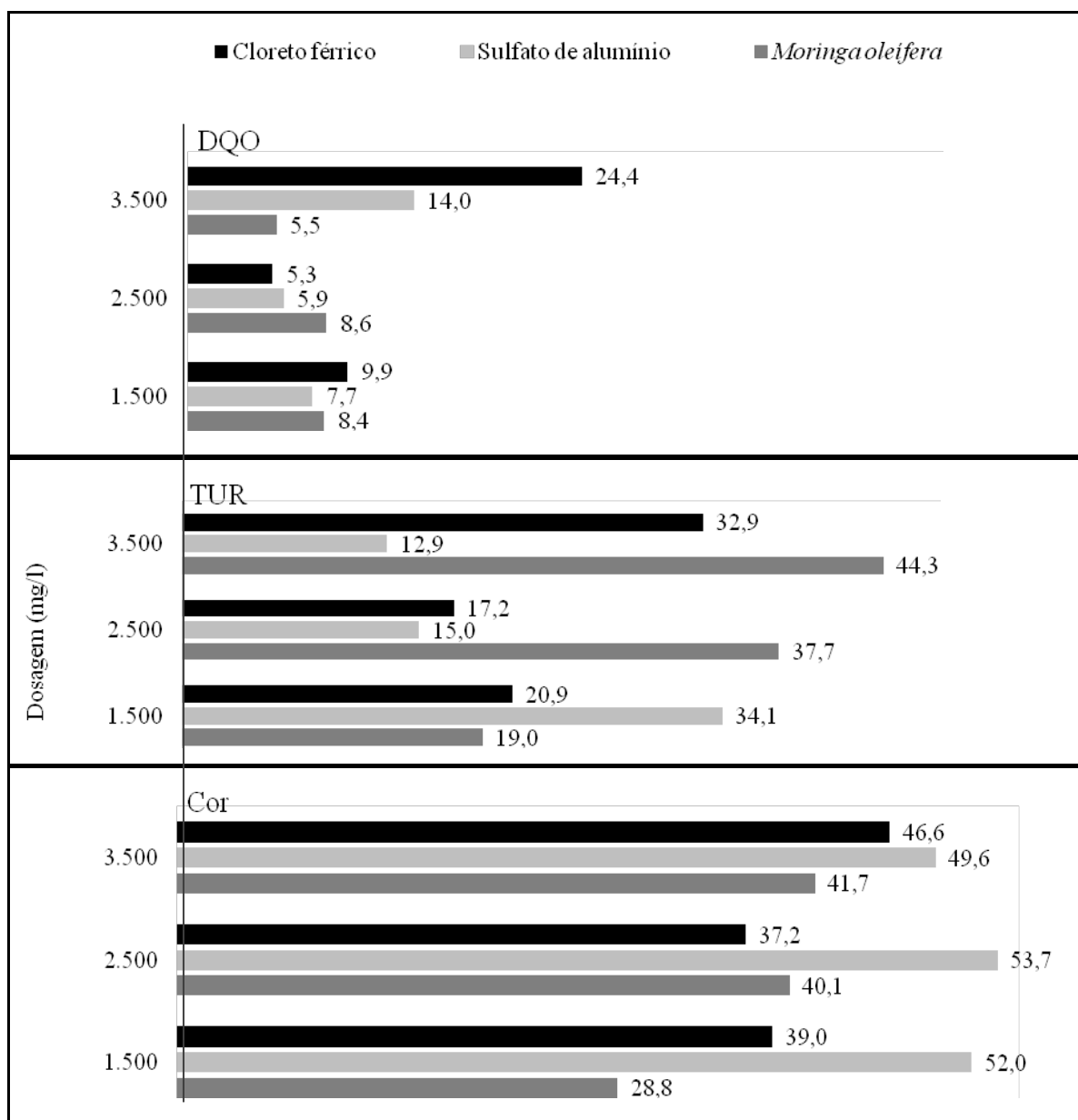


**Figura 5: Alterações do potencial de oxirredução (mV)**

As eficiências de remoção de DQO, turbidez e cor para os diferentes coagulantes e dosagens estão na Figura 6. A baixa remoção de DQO observada é mais uma propriedade dos lixiviados jovens. Quanto ao biocoagulante, sementes de moringa são também material orgânico e, por isso, a fração de coagulante que permanece na água impede uma redução mais alta na DQO, mesmo com remoções significativas de turbidez e cor.

A remoção de turbidez foi favorecida com a aplicação das sementes de *Moringa oleífera*. Este biocoagulante costuma remover bem partículas suspensas de águas turvas. Neste caso, as sementes superaram os coagulantes metálicos nas dosagens mais elevadas, com remoção máxima em 3.500 mg/l. Já o sulfato de alumínio apresentou redução na remoção de turbidez à medida que sua dosagem foi elevada. Tal fenômeno se explica pela ressuspensão de partículas em concentrações de coagulantes superiores à ótima.

Na remoção de cor, o sulfato de alumínio se sobressaiu aos demais coagulantes, mas sem incrementos de eficiência com o aumento da dosagem. A maior remoção de cor ocorreu com 2.500 mg/l de sulfato de alumínio. Esta mesma dosagem removeu quantidades pouco expressivas de DQO e turbidez.



**Figura 1: Remoções (%) de DQO, turbidez e cor**

As remoções de cor e turbidez encontradas foram, como esperado para este tipo de efluente, menores que as comumente verificadas em lixiviados estabilizados. Entretanto, este tratamento pode ser empregado na redução da carga poluente e viabilização de uma alternativa biológica posterior, já que uma configuração única não é capaz de atingir uma concentração efluente aceitável.

As altas dosagens nas quais a eficiência atingiu valores aceitáveis, mesmo nas faixas esperadas para lixiviados não estabilizados, representam na prática grande consumo de reagentes e muita produção de lodo. Neste contexto, as sementes de *Moringa oleifera* ganham destaque, já que tiveram eficiência no mesmo intervalo dos coagulantes convencionais, alteraram inexpressivamente o valor de pH do efluente, consumiram pouca alcalinidade e são capazes de produzir um lodo reduzido e com compostos orgânicos em substituição aos produtos da hidrólise.

A remoção de DQO, turbidez e cor não foram necessariamente acompanhadas por decrementos de sólidos totais, fixos ou voláteis. Todos os coagulantes apresentaram melhor desempenho em 3.500 mg/l, com destaque para o sulfato de alumínio (remoção de 22,2 % para ST). Quanto aos sólidos fixos, a maior redução foi observada com a aplicação de 3.500 mg/l de *Moringa oleifera* (remoção de 19,2 % para SF). O biocoagulante

não foi, entretanto, capaz de remover sólidos voláteis em nenhuma dosagem, por sua própria característica orgânica. O maior acréscimo de material volátil foi verificado para a *Moringa* a 2.500 mg/l (incremento de 20,0% para SV).

Menores razões entre sólidos fixos (SF) e totais (ST) costumam indicar diminuição da toxicidade do material, com diminuição das concentrações de metais pesados e favorecimento da ação microbiana. As dosagens de *Moringa oleifera* tenderam a diminuir a razão SF/ST de 0,50 até 0,45 em 2.500 mg/l e de 0,41 até 0,36 em 3.500 mg/l. Isto foi resultado da combinação da conservação de sólidos voláteis com a remoção alta de sólidos fixos. Ao contrário, os coagulantes inorgânicos aumentaram a fração de material fixo em todos os resultados, exceto a 2.500 mg/l, com remoção inexpressiva.

## CONCLUSÕES

O chorume bruto teve características ligadas principalmente a um material jovem, ainda na acidificação. As dosagens ótimas observadas foram: 3.500 mg/l de cloreto férrico na remoção de DQO (24,4%), 3.500 mg/l de sementes de *Moringa oleifera* na remoção de turbidez (44,3%) e 2.500 mg/l de sulfato de alumínio na remoção de cor (53,7%).

A observação da qualidade do efluente final indica que o tratamento físico-químico estudado pode ser adotado como um pré-tratamento a um método biológico. A associação entre tecnologias é geralmente adequada para produzir um lixiviado com concentração de despejo aceitável. A coagulação-floculação diminuiu a carga tóxica. O tratamento biológico, incluindo a recirculação, torna-se viável, inclusive pelo aumento da biodegradabilidade do efluente.

Os resultados destacam ainda a viabilidade técnica da moringa. Foram verificados pouco consumo de alcalinidade, manutenção do pH inicial e diminuição da relação entre sólidos fixos e totais. Em campo, com investimentos limitados, as altas dosagens necessárias exigem um reagente com baixo custo de aquisição e produção de lodo reduzida. Além disso, os subprodutos da moringa na coagulação são mais biodegradáveis, já que não ocorre hidrólise com sais químicos. Todos esses benefícios mostram que as sementes de *Moringa oleifera* devem ser encaradas como uma alternativa factível junto às demais tecnologias de tratamento físico-químico de lixiviado de aterro. A opção pode parecer atraente apenas para países com menos recursos, mas é principalmente vantajosa para o meio-ambiente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT. NBR 12216: Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.
2. CHRISTENSEN, T. H.; KJELDSSEN, P.; BJERG, P. L.; JENSEN, D. L.; CHRISTENSEN, J. B.; BAUN, A.; ALBRECHTSEN, H. J.; HERON, G. Biogeochemistry of landfill leachate plumes. *Applied Geochemistry*, Amsterdam, v. 16, n 7-8, p. 659 - 718, 2001.
3. EL-FADEL, M.; BOU-ZEID, E.; CHAHINE, W.; ALAYLI, B. Temporal Variation of leachate quality from pre-sorted and baled municipal solid waste with high organic and moisture content. *Waste Management*, Amsterdam, v. 22, n. 3, p. 269-282, 2002.
4. KATAYON, S.; NOOR, M. J. M. M.; ASMA, M.; GHANI, L. A. A.; THAMER, A. M.; AZNI, I.; AHMAD, J.; KHOR, B. C.; SULEYMAN, A. M. Effects of storage conditions of *Moringa oleifera* seeds on its performance in coagulation. *Bioresource Technology*, Amsterdam, v. 97, n. 13, p. 1455-1460, 2006.
5. MAHMUD, K.; HOSSAIN, M.; SHAMS, S. Different treatment strategies for highly polluted landfill leachate in developing countries. *Waste Management*, Amsterdam, v. 32, n. 11, p. 2096-2105, 2012.
6. NDABIGENGESERE, A.; NARASIAH, K. S. Quality of water treated by coagulation using *Moringa oleifera* seeds. *Water Research*, London, v. 32, n. 3, p. 781-791, 1998.
7. NDABIGENGESERE, A.; NARASIAH, K.S. Use of *Moringa oleifera* seeds as a primary coagulant in wastewater treatment. *Environmental Technology* v. 19, n. 8, p. 789-800, 1998.
8. RAFIZUL, I. M.; ALAMGIR, M. Characterization and tropical season variation of leachate: results from landfill lysimeter studied. *Waste Management*, Amsterdam, v. 32, n. 11, p. 2080-2095, 2012.
9. RENOU, S.; GIVAUDAN, J. G.; POULIN, S.; DIRASSOUYAN, F.; MOULIN, P. Landfill leachate treatment: review and opportunity. *Journal of Hazardous Materials*, Amsterdam, v. 150, n. 3, p. 468-493, 2008.



10. SALEM, Z.; HAMOURI, R.; DJEMAA, R.; ALLIA, K. Evaluation of landfill leachate pollution and treatment. *Desalination*, Amsterdam, v. 220, n. 1-3, p. 108-114, 2008.
11. ŠAN, I.; ONAY, T. T. Impact of various leachate recirculation regimes on municipal solid waste degradation. *Journal of Hazardous Materials*, Amsterdam, v. 87, n. 1-3, p. 259 - 271, 2001.
12. SIVAKUMAR, D. Adsorption study on municipal solid waste leachate using *Moringa oleifera* seed. *International Journal of Environmental Science and Technology*, Berlin, v. 10, n. 1, p. 113-124, 2013.
13. TATSI, A. A.; ZOUBOULIS, A. I.; MATIS, K. A.; SAMARAS, P. Coagulation-flocculation pretreatment of sanitary landfill leachates. *Chemosphere*, Amsterdam, v. 53, n. 7, p. 737-744, 2003.
14. WISZNIOWSKI, J.; ROBERT, D.; SURMACZ-GORSKA, J.; MIKSCH, K.; WEBER, J. V. Landfill leachate treatment methods: a review. *Environmental Chemistry Letters*, Heidelberg, v. 4, n. 3, p. 51-61, 2006.