

II-114 - PRÉ-TRATAMENTO DE LIXIVIADO POR MEIO DA COMBINAÇÃO DOS PROCESSOS DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO, AIR STRIPPING E OZONIZAÇÃO

Alberto Dresch Webler (1)

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Rondônia. Mestre em Engenharia Civil e doutorando em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ). Professor do Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Rondônia – UNIR - CAMPUS de Ji-Paraná - RO.

Marcia Walquiria de Carvalho Dezotti

Química pela Universidade Estadual de Campinas, mestre e doutora em Química pela Universidade Estadual de Campinas e pós-doutorado na North Carolina State University. Professora associada no Programa de Engenharia Química da COPPE na da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Claudio Fernando Mahler

Graduado em Engenharia Civil e em Psicologia, mestrado e o doutorado em Geotecnia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Pós-doutorado na Universidade de Osnabrück e na Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo. Professor titular na Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE).

Endereço⁽¹⁾: Rua Rio Amazonas, 351 – Jardim dos Migrantes – Ji-Paraná - RO - Brasil - Tel: (69) 3423-6797
- e-mail: alberto.webler@unir.br

RESUMO

O tratamento de lixiviados de áreas de disposição de resíduos sólidos apresenta complexidade devido à elevada variabilidade, toxicidade, recalcitrância, DQO, amônia e entre outros compostos. Dessa forma, visando aplicar técnicas combinadas para o tratamento de lixiviado, este estudo realizou a aplicação de diversos processos de tratamento como *air stripping*, coagulação/floculação e ozonização em lixiviados de uma área de disposição de resíduos sólidos urbanos, no estado do Rio de Janeiro – Brasil, em 2013. Os resultados apontaram uma redução na DQO de 58,1% e na cor de 85,6% utilizando o processo de coagulação/floculação. O processo *air stripping* foi realizado sob pH acima de 12, e reduziu os níveis de amônia para abaixo de 60 mg.L⁻¹. O processo de ozonização, com absorção de ozônio de 397 mg.O₃.L⁻¹ e 2376 mg.O₃.L⁻¹ apresentou melhores resultados com aumento de 59,4% na relação DBO₅/DQO. Desse modo elevou a DBO de 272 para 364 e 324 mg.L⁻¹.O₂ e reduziu a DQO de 852 para 736 e 630 mg.L⁻¹.O₂, respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos sólidos, DQO, Amônia e Toxicidade.

INTRODUÇÃO

Com a urbanização e o aparecimento de conglomerados urbanos houve a necessidade de se escolher áreas relativamente próximas para o tratamento e/ou a disposição de resíduos sólidos urbanos (RSU) de forma mais organizada. Dentre as diferentes alternativas, em particular no Brasil, o método considerado mais interessante pelas empresas que coletam e dispõem os RSU ainda é o dos aterros, devido às vantagens como simplicidade e maior lucro a curto prazo e com baixo investimento. Não obstante, um dos inconvenientes dos aterros de resíduos é a produção de lixiviado, cujo tratamento pode significar um acréscimo significativo no custo total de disposição dos resíduos. Até o presente, há poucos aterros em todo o país, com uma solução com relação ao lixiviado realmente implementada e funcionando efetivamente.

O lixiviado de aterro de área de disposição de resíduos sólidos apresenta uma alta DQO, DBO, nitrogênio amoniacal, toxicidade e recalcitrância, dificultando o tratamento por processos biológicos, principalmente no caso de aterros antigos, onde o processo biológico é praticamente ineficiente. Assim, se faz necessário o emprego de tratamentos prévios para reduzir níveis de componentes que tornam o processo ineficaz, como os altos valores de DQO, nitrogênio amoniacal, toxicidade, DBO₅/DQO e outros (AMR et al., 2013; CORTEZ et al., 2011; WEI et al., 2010).

Há uma boa diversidade de métodos físico-químicos que vêm apresentando bons resultados, tais como coagulação, *air stripping*, processos oxidativos avançados, evaporação do lixiviado, precipitação química e por membranas.

Vale ressaltar que segundo Zhang et al. (2012), não há um único processo de tratamento de lixiviado. Assim, é preciso estabelecer processos combinados para propiciar um tratamento adequado.

Por tal motivo, foi desenvolvido nesse estudo uma combinação de tratamentos, visando aplicar técnicas combinadas para o pré-tratamento de lixiviado. Este estudo realizou a aplicação de diversos processos de tratamento como *air stripping*, coagulação/floculação e ozonização em lixiviados de uma área de disposição de resíduos sólidos urbanos, no estado do Rio de Janeiro – Brasil, em 2013.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Descrição da Área e do Lixiviado

O lixiviado foi proveniente de uma área de disposição de resíduos sólidos localizada no Estado do Rio de Janeiro, em operação há mais de 15 anos. Inicialmente essa área apresentava características de lixão, passando a ser um aterro controlado e hoje apresenta células com características de aterro sanitário.

O lixiviado após a coleta foi mantido em temperaturas de 4°C de acordo com AWWA(2005), armazenado em uma câmara fria.

Os parâmetros analisados foram pH, COD, DQO, DBO₅, N_{total}, SSV, SST, cor e foram determinados de acordo com *Standart Methods for the Examination of Waterand Wastewater* (2005).

2.2 Processos de Coagulação/Floculação

Estes ensaios foram realizados com o coagulante cloreto férrico hexahidratado (FeCl₃.6H₂O) em triplicata com o equipamento tipo JarTest, da marca Digimed.

Para os ensaios foram variados o pH e a dosagem de coagulante. Os valores de pH variaram entre 4 a 9 e a dosagem de cloreto férrico variou entre 400 e 900 mg.L⁻¹ e o polímero iônico em 4mg. Para variar o pH, utilizou-se solução de hidróxido de sódio ou ácido sulfúrico.

Foi inserido o cloreto férrico e as amostras foram submetidas à agitação rápida (150 rpm) por 5 min, em seguida foi adicionado o polímero iônico, sendo a amostra levada à agitação lenta (30 rpm) por um período de 15 min. Após a mistura lenta, as amostras ficaram em repouso por 30 min, e em seguida foram coletados volumes de lixiviado para análises.

2.3 Processo de Air Stripping

Para os ensaios de remoção de nitrogênio amoniacal por Air Stripping foram utilizadas 6 provetas de 2 litros preenchidas com lixiviado com pH previamente alcalinizado para o valor 12. Para o processo de arraste da amônia utilizou uma bomba de ar comprimido com vazão de 1,2 L.min⁻¹. Para o borbulhamento de ar foi utilizado uma pedra porosa, sendo mantido até a concentração de amônia decair a valores próximos a 60 mg.L⁻¹.

2.4 Processo de Ozonização

Para a produção do ozônio utilizou-se um gerador da marca Multivácuo modelo MV06. O ozônio foi produzido a partir de oxigênio puro, com uma vazão de 1 L.min⁻¹, a qual foi mensurada na entrada do gerador com auxílio do rotâmetro.

A quantidade de ozônio produzida foi medida em todos os ensaios por meio do seu borbulhamento direto em uma solução de iodeto de potássio (KI) 2%.

2.5 Ensaio de Toxicidade

Para o ensaio de toxicidade foi utilizado o sistema Microtox ModernWater, que é um fotômetro de precisão. O organismo usado neste teste foi *Vibrio Fisheri*, bactéria de origem marinha que emite luz naturalmente. Para a realização do teste é utilizada uma pequena amostra (1 mL) de efluente que é exposta às bactérias *Vibrio Fisheri* as quais emitem luminosidade. O efeito é medido com 15 min de teste, caso haja alguma toxicidade a esse micro-organismo, observa-se uma redução da luminosidade. O teste é realizado conforme ABNT NBR 15411-3.

3.0 Resultados e Discussão

Na Tabela 1, são apresentadas as características físico-químicas do lixiviado utilizado. O conhecimento das características do lixiviado possibilita buscar técnicas eficientes para o seu tratamento, podendo a sua depuração ser constituída por processos biológicos e físico-químicos.

Tabela 1. Características físico-químicas do lixiviado bruto durante a primeira e a segunda coleta.

Variável	Unidades	Amostra 1	Amostra 2
DQO	mg.L ⁻¹	2.595	2.340
DQO filtrado	mg. L ⁻¹	2.365	2.050
DBO ₅	mg. L ⁻¹	870	Nd
SST	mg. L ⁻¹	116,20	145,30
SSV	mg. L ⁻¹	107,85	127,50
COD	mg. L ⁻¹	603	883
Nitrogênio amoniacal	mg. L ⁻¹	1.818	1.856
Nitrogênio total	mg. L ⁻¹	1.954	Nd
Cloreto	mg.L ⁻¹	2.248	1.975
Condutividade	µs.cm ⁻¹	14.793	16.891
Cor	mgPtCo. L ⁻¹	1.643	1.790
pH	-	8,67	8,36

Entre as características, as que merecem maior atenção são a amônia, o nitrogênio e a DQO. O nitrogênio amoniacal no lixiviado é cerca de 360 vezes superior ao preconizado no INEA NT-202, sendo o valor máximo permitido dessa variável de 5 mg.l-1. A DQO, por sua vez, tem um limite estabelecido pelo INEA de 200 mg.L⁻¹.O₂ (NT-202 INEA).

A razão DBO₅/DQO do lixiviado estudado foi de 0,33 o que indica que o efluente apresenta caráter recalcitrante, para realizar um processo biológico, sendo preferíveis valores acima de 0,5 (RENOU et al. 2008). Isso conjuntamente com a alta concentração de amônia, 1.837 mg.L-1, impossibilita um tratamento biológico, visto que pode inibir a nitrificação quando submetidos a tais tratamentos (VEDRENNE et al., 2012).

3.1 Testes de Coagulação/Floculação

A aplicação de um processo de coagulação/floculação, como um primeiro passo no tratamento de lixiviados apresenta-se como uma alternativa interessante, devido a ser um processo rápido e amplamente difundido.

Os ensaios de coagulação/floculação tiveram o intuito de remover parte da matéria orgânica particulada. Os ensaios dos processos de coagulação/floculação com o FeCl₃ foram otimizados aplicando diferentes faixas de pH e concentrações de coagulantes, assim apresentou melhores resultados com pH 5 e dosagem de 600 mg.L-1 de FeCl₃, com eficiência de 85,6% para a cor e 58,1% para a DQO.

3.2 Processo de Air Stripping

O *air stripping* visou remover o nitrogênio amoniacal através da elevação do pH, já que em meio alcalino ocorre a conversão de NH_4^+ para NH_3 , sendo assim possível o seu arraste pelo ar. Ciente dessa característica, elevou-se o pH das amostras para valores superiores a 12, propiciando uma conversão superior a 99%.

Aqui foi buscado um valor de amônia próximo de 60 mg.L⁻¹ com eficiência de redução de 96,7%, durante o processo de *air stripping*, no qual esse processo além de reduzir NH_4^+ abaixo de 60 mg.l-1 apresentou remoção de cor e DQO de 66% e 8%, respectivamente, sobre o efluente tratado anteriormente por coagulação/floculação.

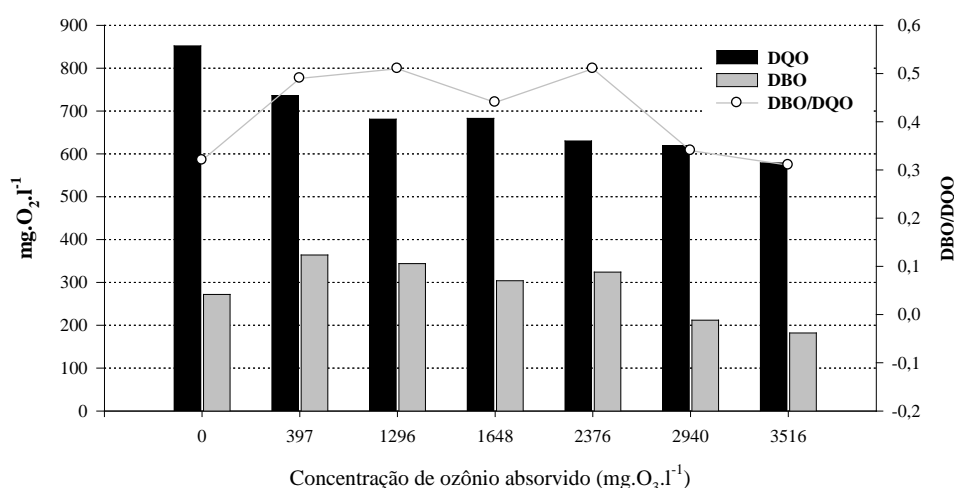
3.3 Processo de Ozonização

A aplicação do ozônio antes do processo biológico pode favorecer um acréscimo da taxa de redução de DQO, principalmente pela degradação e modificação de compostos que podem ser tóxicos e recalcitrantes aos processos biológicos.

Na Figura 1 é mostrado a resposta da aplicação de ozônio sobre o lixiviado, com enfoque na redução de DQO e DBO, mas principalmente o aumento da biodegradabilidade (DBO_5/DQO). É verificado que ocorreu uma redução de DQO entre 13,69 a 32,07% com ozônio consumido de 397 a 3516 mg.O₃.L⁻¹.

Já a DBO apresentou inicialmente um acréscimo de 33,82% (397 mg.O₃.L⁻¹), e posteriormente começou a decrescer, com redução de 33,09% com a aplicação de O₃ de 3516 mg.O₃.L⁻¹. Consequentemente a relação DBO/DQO se comportou similarmente à DBO. Os melhores resultados foram obtidos com aplicação de O₃ entre 397 a 2376 mg.O₃.L-1. Com relação a DBO/DQO, obteve-se média de 0,49, valor 53% superior à da amostra não ozonizada, que apresentava 0,32. Assim, as aplicações do ozônio além de reduzir a DQO, propiciaram o aumento da relação DQO/DBO, que indica um aumento na biodegradabilidade.

Figura 1. DQO, DBO e razão DBO/DQO para amostras ozonizadas sob diferentes concentrações de ozônio absorvido.



Cassano et al. (2011) utilizaram o processo biológico com reator sequencial com biofilme, e este apresentou eficiência média sem a ozonização de 54% (1200 para 552 mg.L-1) na remoção de DQO. Com a aplicação de ozônio com taxa de 400 e 1600 mg.O₃.L-1 foi obtida eficiência global de 85% (1200 para 180 mg.l-1) e 95% (1200 para 60 mg.l-1), respectivamente.

3.4 Toxicidade

Um lixiviado apresenta uma gama de constituintes que podem apresentar um risco potencial, quando são liberados no meio ambiente, porque eles geralmente são tóxicos, resistentes à degradação ambiental e tem

outras características que o torna perigoso para o meio ambiente. Assim, o ensaio de toxicidade aguda vai identificar uma possível melhora que ocorre nestes processos de tratamento aqui aplicados.

O tratamento por coagulação/floculação apresentou uma melhora média de 3,5% na toxicidade (Tabela 2). Assim, ao remover amônia abaixo de 60 mg.L⁻¹, por *air stripping*, juntamente com a coagulação/floculação, do CE50% aumentou em 76,8% (18,27 para 32,3), porém continuando tóxica. O tratamento por ozonização teve um aumento na CE50% em 173% e 165% com taxas de absorção de ozônio em 397 e 1296 mg.O₃.L⁻¹. E com o aumento da dose absorvida de ozônio entre 1648 a 3516 mg.O₃.L⁻¹ as amostras não foram tóxicas a *vibrio fisheri*, mostrando que o processo de tratamento do lixiviado pelos três processos realizados (coagulação/floculação, *air stripping* e ozonização) removeu a toxicidade do lixiviado.

Tabela 2. Resultados de toxicidade realizado com Microtox sobre o lixiviado bruto e pré-tratado

<i>Amostra</i>	<i>Vibrio fisheri</i> CE50(%)
Lixiviado Bruto	17,66
Lixiviado coagulado/floculado	18,27
Lixiviado coagulado/floculado + <i>airstripping</i>	32,30
Lixiviado coagulado/floculado + <i>airstripping</i> + 397 mg.O ₃ .L ⁻¹	88,03
Lixiviado coagulado/floculado + <i>airstripping</i> + 1296 mg.O ₃ .L ⁻¹	85,46
Lixiviado coagulado/floculado + <i>airstripping</i> + 1648 -3516 mg.O ₃ .L ⁻¹	Nt

Nt. Não tóxico

CONCLUSÕES

O lixiviado bruto apresentou recalcitrância, alta concentração de nitrogênio amoniacal e elevada toxicidade. O processo de coagulação apresentou a maior redução de DQO, sendo de aproximadamente 60%, com resultados excelentes.

A remoção de amônia por *air stripping* apresentou os níveis buscados, demonstrando ser de fácil controle, com elevada possibilidade de se adequar a níveis desejados.

A aplicação do ozônio apresentou ótimos resultados, propiciando aumento na biodegradabilidade e redução da DQO com o aumento da dosagem de ozônio, diminuindo a toxicidade a níveis de não tóxico.

O conjunto dos processos de tratamento aqui realizado propiciou um lixiviado isento de toxicidade a *vibrio fisheri*, principalmente através da ozonização, possibilitando um posterior tratamento biológico desse lixiviado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMR, S. S. A.; AZIZ, H. A.; ADLAN, M. N.; BASHIR, M. J. K., 2013. "Pretreatment of stabilized leachate using ozone/persulfate oxidation process", v.221, pp. 492-499.
2. CASSANO, D.; ZAPATA, A.; BRUNERRI, G.; MORO, D.; LACONI, C. D.; OLLER, I.; MALATO, S.; MASCOLO, G. 2011. "Comparison of several combined/integrated biological-AOPs setups for the treatment of municipal landfill leachate: Minimization of operating costs and effluent toxicity", Chemical Engineering Journal, v.172, pp. 250-257.
3. CORTEZ, S.; TEIXEIRA, P.; OLIVEIRA, R.; MOTA, M. 2013. "Evaluation of Fenton and ozone-based advanced oxidation processes as mature landfill leachate pre-treatments", Journal of Environmental Management, v.92, pp. 749-755.
4. RENOU, S.; GIVAUDAN, J.G.; POULAIN, S.; DIRASSOUYAN, F.; MOULIN, P. 2008. "Landfill leachate treatment: Review and opportunity", Journal of Hazardous Materials, v. 150, pp 468-493.

5. VEDRENNE, M.; MEDRANO, R. V.; GARCIA, D. P.; URIBE, B. A. F.; IBANEZ, J. G. 2012. "Characterization and detoxification of a mature landfill leachate using a combined coagulation–flocculation/photo Fenton treatment", Journal of Hazardous Materials, v. 205, pp. 208-215.
6. LI, WEI.; HUA, T.; ZHOU, Q.; ZHANG, S; LI, F. 2010. "Treatment of stabilized landfill leachate by the combined process of coagulation/flocculation and powder activated carbon adsorption", Desalination, v.264, pp. 56-62.