

# **TRATAMENTO DE LIXIVIADO DE ATERROS SANITÁRIOS URBANOS UTILIZANDO OS PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS COMBINADOS A COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO**

M. A. LOUREIRO<sup>1</sup>, M. A. MOTTA SOBRINHO<sup>1</sup>, J. V. F. L. CAVALCANTI<sup>2</sup>, M. R. CALHEIROS<sup>1</sup>  
e I. V. C. LIMA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Engenharia Química

<sup>2</sup> Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Garanhuns  
E-mail para contato: mirella\_loureiro@me.com

**RESUMO** – A pesquisa, fundamentada às necessidades de melhoramento no tratamento do lixo e seus derivados gerados na Região Metropolitana do Recife (RMR), propõe um estudo objetivando a degradação do lixiviado, remanescente do processo natural de decomposição do lixo em aterros sanitários. Assim sendo, este trabalho recorreu aos Processos Oxidativos Avançados (POA) combinado às técnicas de precipitação por coagulação/floculação como alternativas para o tratamento do mesmo. O lixiviado bruto foi submetido à precipitação química utilizando dois tipos de coagulantes: hidróxido de cálcio e sais de sulfato de alumínio polimerizado. Após análise estatística, tendo como variáveis de resposta a percentual de remoção da cor e da demanda química de oxigênio (DQO), foi obtido o coagulante com o melhor custo-benefício, tendo, em sua condição ótima, uma remoção de 22% de cor e 52% de DQO. Utilizando o melhor coagulante em sua condição ótima, realizou-se o planejamento de oxidação avançada utilizando o reagente Fenton e foto-Fenton, obtendo-se uma remoção de 58% do carbono orgânico total (COT) em relação ao lixiviado coagulado e 72% em relação ao lixiviado bruto.

## **1. INTRODUÇÃO**

Os problemas relacionados ao descarte do lixo gerado nas grandes cidades é um dos mais contundentes problemas de saúde pública encontrados nas sociedades modernas. Quando o lixo é coletado, ele é depositado em vazadouros a céu aberto, chamados de lixão ou em aterros sanitários ou controlados. Há a decomposição desse lixo, e os resultados deste processo químico são gases emitidos e o chorume. Esse líquido, com a precipitação natural, torna-se um lixiviado que, se não for tratado corretamente, contamina solos, águas subterrâneas e superficiais.

Uma alternativa de tratamento para o lixiviado são os processos oxidativos avançados (POA), que se baseiam na degradação da matéria orgânica, transformando-a em gás carbônico, água e íons inorgânicos através de reações de oxi-redução por uso dos radicais hidroxilas. Atualmente, os POA se destacam como a grande inovação dentre as linhas de pesquisa da Engenharia Ambiental, ressaltando-se sua utilização na degradação chorumes (Aragão et al., 2009; Geraldo Filho et al., 2009). Entretanto, tais processos são onerosos, o que inviabilizaria o tratamento de dezenas de metros cúbicos desse

efluente, caso haja uma simulação real. Para ajudar o processo reduzindo custos, deve-se fazer um tratamento preliminar do lixiviado. Por isso, esta pesquisa propõe que antes da aplicação do POA seja utilizado o processo de precipitação por coagulação/floculação, reduzindo a carga orgânica do efluente. Esse processo de separação por precipitação atua envolvendo partículas mais densas que s decantadas em equipamentos adequados. A lama formada é conduzida aos leitos de secagem e o sobrenadante, oxidado, no caso desse projeto.

Essa pesquisa está sendo realizada coletando o lixiviado de um aterro da Região Metropolitana do Recife - PE, realizando a etapa da precipitação por coagulação/floculação e encerrando com os processos oxidativos avançados.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1. Coleta da Amostra**

A coleta do lixiviado é realizada no Aterro da Muribeca, localizado no município de Jaboatão dos Guararapes – PE. O lixiviado é coletado em bombonas de polietileno com capacidade de volume de 20 litros e conservado sob refrigeração a 4°C até a sua utilização.

### **2.2. Caracterização do Lixiviado**

A metodologia adotada para a caracterização das amostras de lixiviado bruto e após os métodos de tratamento foi baseada nos procedimentos estabelecidos pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA et al, 1998). Os parâmetros físico-químicos analisados nessa pesquisa foram: DBO, DQO, COT, cor, turbidez, alcalinidade, pH, condutividade e série de sólidos.

### **2.3. Tratamento do Lixiviado**

Tratamento preliminar do lixiviado por coagulação/floculação: Após a coleta e caracterização da amostra, realizou-se o tratamento do lixiviado através do método físico-químico coagulação/floculação.

Nesses ensaios, foram utilizados dois tipos de coagulantes: o hidróxido de cálcio SP diluído em água destilada (leite de cal) e outro coagulante composto por sais de sulfato de alumínio polimerizado fabricado pela Rhofer Ambiental e fornecido pela Frompet.

Realizou-se um planejamento experimental do tipo fatorial completo baseado na metodologia realizada por Rocha (2013). Nesta metodologia de otimização, as variáveis dependentes foram: massa de coagulante, tempo floculação (mistura lenta), velocidade de rotação na floculação e tempo de sedimentação e as variáveis dependentes, variáveis de respostas foram a remoção de DQO e cor. A velocidade de rotação e tempo de coagulação não foram incluídas pois, as mesmas não foram significativas, em estudos realizado por Mello (2011), utilizando cal no tratamento de lixiviados do Aterro da Muribeca.

Para o estudo com o coagulante de hidróxido de cálcio SP, utilizou-se planejamento fatorial completo  $2^4$ , envolvendo as variáveis e níveis conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1- Níveis das variáveis do planejamento fatorial experimental  $2^4$  utilizando o hidróxido de cálcio

<b>Variáveis</b>	<b>-1</b>	<b>0</b>	<b>+1</b>
Rotação de floculação (rpm)	36	72	108
Tempo de mistura lenta (min)	5	15	25
Massa do coagulante (g)	5	10	15
Tempo de sedimentação (min)	10	35	60

Foram adotadas velocidades de rotação para coagulação de 115 rpm e tempo de mistura rápida de 60 segundos, de acordo com estudos realizados por Mello (2011). Os ensaios de tratabilidade foram realizados no equipamento *Jar Test*. O hidróxido de cálcio foi utilizado como solução de leite de cal. Em cada béquer foi adicionado o lixiviado numa escala de 1:10 em relação ao leite de cal. Foram medidas a DQO e a cor utilizando o colorímetro MERK spectroquant modelo Nova 60.

Para o estudo com o coagulante composto por sais de sulfato de alumínio polimerizado, realizou-se o mesmo planejamento experimental descrito acima. Nessa metodologia de otimização, as variáveis dependentes foram: volume de coagulante, tempo floculação (mistura lenta), velocidade de rotação na floculação e tempo de sedimentação e as variáveis dependentes foram a remoção de DQO e cor. O tempo de sedimentação foi alterado pois esse coagulante sedimenta mais lentamente.

A fabricante do coagulante de sais de sulfato de alumínio polimerizado, Rhofer Ambiental, informou que o pH ideal para se trabalhar com o coagulante é de 5 a 7, dependendo do efluente a ser tratado, esse poderia ter seu pH corrigido pelo próprio coagulante, que possui pH 0,95, e o volume gasto para essa correção já seria o volume ideal de coagulante a ser adicionado no efluente. O planejamento utilizado nos ensaios foi feito de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2 - Níveis das variáveis do planejamento fatorial experimental  $2^4$  utilizando o coagulante de sais de sulfato de alumínio polimerizado

<b>Variáveis</b>	<b>-1</b>	<b>0</b>	<b>+1</b>
Rotação de floculação (rpm)	36	72	108
Tempo de mistura lenta (min)	5	15	25
Volume do coagulante (mL)	4	5	6
Tempo de sedimentação (min)	30	45	60

Aplicação dos processos oxidativos avançados (POA) no lixiviado preliminarmente tratado utilizando o reagente de Fenton e foto-Fenton: Após o tratamento do lixiviado bruto através do método físico-químico coagulação/floculação, em sua melhor condição, foi feito um planejamento utilizando como reagentes uma solução de peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) em concentração de 50% (v/v) e sulfato ferroso heptahidratado ( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ) sólido, ou seja, o reagente de Fenton. O planejamento fatorial  $2^4$  utilizado foi baseado em um planejamento desenvolvido por Moravia (2010). Nessa metodologia de otimização, as variáveis dependentes foram: dosagem de  $H_2O_2$ , proporção de  $Fe:H_2O_2$ , tempo de reação e a radiação solar; e a variável dependente foi: remoção de COT.

Nessa etapa, os ensaios foram realizados em béqueres contendo 200 mL do lixiviado pré-tratado (sobrenadante da coagulação/floculação), foi realizado o ajuste de pH igual a 2,5 com ácido sulfúrico (adição lenta) e adicionados a solução de peróxido de hidrogênio e o sulfato ferroso heptahidratado, deixando-os sob radiação solar ou não, seguindo o planejamento de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3 - Níveis das variáveis do planejamento fatorial experimental  $2^4$  utilizando o reagente de Fento e foto-Fenton

Níveis	$H_2O_2$		$Fe:H_2O_2$		t (min)	Radiação solar
	Fator*	Valor (g/L)	Prop**	Valor (g/L)		
+1	1,5	8,34	1:1	2,78	30	Presente
0	1	5,56	1:5	0,56	45	Presente
-1	0,5	2,78	1:10	0,28	60	Ausente

\* Fator de multiplicação x 2,125 g de  $H_2O_2$  para cada g de DQO do lixiviado tratado por coag/floc;

\*\* Proporção  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ :Concentração de solução de  $H_2O_2$  50% (v/v) em relação à quantidade estequiométrica de  $O_2$  necessária para a estabilização total da DQO. (DQO<sub>lix.coag</sub> = 1431,39 mg/L)

A reação de Fenton e foto-Fenton foram paradas utilizando uma solução de sulfito de sódio anidro com uma concentração suficiente para extinguir todo o peróxido de hidrogênio residual. Nesse planejamento, o fator presença/ausência de radiação solar não possui média para fazer o ponto central então para esse ponto foi adotada a presença de radiação solar para poder considerar os valores das médias dos outros fatores.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1. Caracterização do Lixiviado Bruto

O lixiviado bruto foi analisado sob alguns parâmetros, a fim de caracterizar a sua composição, a Tabela 4 contém os dados da caracterização.

Tabela 4 – Caracterização do lixiviado bruto

Parâmetros	Resultados	Parâmetros	Resultados	Parâmetros	Resultados
DQO (mg/L)	1956,88	Turbidez(NTU)	15,36	ST (mg/L)	6340
DBO (mg/L)	450	SST (mg/L)	10	SF (mg/L)	1253
pH	8,17	SSV (mg/L)	3,5	SV (mg/L)	5087
Cor (Hz)	4480	SSF(mg/L)	6,5	-----	

Observa-se que o lixiviado apresenta baixa DQO e boa degradabilidade (relação DBO/DQO de 0,2). A concentração de sólidos totais dissolvidos correspondem a 80% dos ST, indicando que os SD predominam na composição do lixiviado, o que contribui para a cor do mesmo. A cor está relacionada com os SD e colóides, mais especificamente, com a presença de substâncias húmicas e fúlvicas.

### 3.2. Tratamento do Lixiviado

Tratamento preliminar do lixiviado por coagulação/floculação utilizando o coagulante de hidróxido de cálcio: Na Tabela 5, encontram-se os resultados para o planejamento experimental do tipo fatorial completo 2<sup>4</sup> realizado.

Tabela 5 – Resultados da DQO e cor após tratamento por coagulação/floculação

Ensaio	Massa (g)	Rot. floc. (rpm)	t floc. (min)	t sediment (min)	% Remoção DQO média	% Remoção Cor média
1	+1	+1	+1	+1	52,54	22,12
2	+1	+1	+1	-1	42,81	19,91
3	+1	+1	-1	+1	43,22	17,26
4	+1	+1	-1	-1	42,21	12,39
5	+1	-1	+1	+1	47,40	13,72
6	+1	-1	+1	-1	28,27	20,80
7	+1	-1	-1	+1	42,75	16,37
8	+1	-1	-1	-1	47,73	12,83
9	-1	+1	+1	+1	33,30	15,49
10	-1	+1	+1	-1	38,92	13,27
11	-1	+1	-1	+1	23,11	9,29
12	-1	+1	-1	-1	39,33	23,01
13	-1	-1	+1	+1	23,62	15,49
14	-1	-1	+1	-1	39,10	8,41
15	-1	-1	-1	+1	9,31	15,49
16	-1	-1	-1	-1	29,62	19,03
17	0	0	0	0	33,79	7,52
18	0	0	0	0	32,82	7,08

De acordo com os resultados, obteve-se uma remoção máxima de 52% de DQO (ensaio 1) e 23% (ensaio 12) de cor em relação ao lixiviado bruto. No ensaio 1, foram obtidas as melhores condições relacionando a DQO e a cor, 52% e 22% respectivamente, com uma diferença insignificante em relação ao ensaio 12 para a cor, sendo esse ensaio a condição ótima do planejamento.

O lodo gerado nesse procedimento foi menos de 10% do volume para 1L de lixiviado tratado. Esse lodo foi acondicionado e encaminhado para o tratamento adequado.

Tratamento preliminar do lixiviado por coagulação/floculação utilizando o coagulante de sais sulfato de alumínio polimerizado: Na Tabela 6, encontram-se os resultados para o planejamento experimental do tipo fatorial completo  $2^4$  realizado.

Tabela 6 – Resultados do percentual de remoção da DQO e da cor após tratamento por coagulação/floculação

Ensaio	Vol. (mL)	Rot. floc. (rpm)	t floc. (min)	t sediment (min)	% Remoção DQO média	% Remoção Cor média
1	+1	+1	+1	+1	44,29	55,13
2	+1	+1	+1	-1	44,61	52,05
3	+1	+1	-1	+1	31,83	47,44
4	+1	+1	-1	-1	44,42	51,79
5	+1	-1	+1	+1	47,51	29,49
6	+1	-1	+1	-1	26,15	1,79
7	+1	-1	-1	+1	40,74	51,79
8	+1	-1	-1	-1	27,44	43,59
9	-1	+1	+1	+1	30,73	34,10
10	-1	+1	+1	-1	22,47	15,90
11	-1	+1	-1	+1	21,69	18,46
12	-1	+1	-1	-1	18,72	20,00
13	-1	-1	+1	+1	23,63	26,41
14	-1	-1	+1	-1	17,37	23,33
15	-1	-1	-1	+1	14,07	24,87
16	-1	-1	-1	-1	22,34	34,62
17	0	0	0	0	20,27	19,23
18	0	0	0	0	21,21	19,49

De acordo com os resultados, obteve-se uma remoção máxima de 47% de DQO (ensaio 5) e 55% (ensaio 1) de cor em relação ao lixiviado bruto. No ensaio 1, foram obtidas as melhores condições relacionando a DQO e a cor, 44% e 55% respectivamente.

Os resultados mostraram que o coagulante polimerizado removeu maior percentual de cor e a cal obteve maior remoção de DQO. O lodo gerado pelo coagulante polimerizado foi quase 4 vezes

maior do que o da cal. Analisando os resultados e considerando o custo-benefício de todo procedimento, o hidróxido de cálcio se mostrou um melhor coagulante a ser utilizado no tratamento por gerar um volume bem menor de lodo e por ter um menor custo.

Aplicação dos processos oxidativos avançados (POA) no lixiviado preliminarmente tratado utilizando o reagente de Fenton e foto-Fenton: A Figura 1 mostram os resultados da remoção de COT após o planejamento do POA utilizando o lixiviado preliminarmente tratado por coagulação/floculação com hidróxido de cálcio.

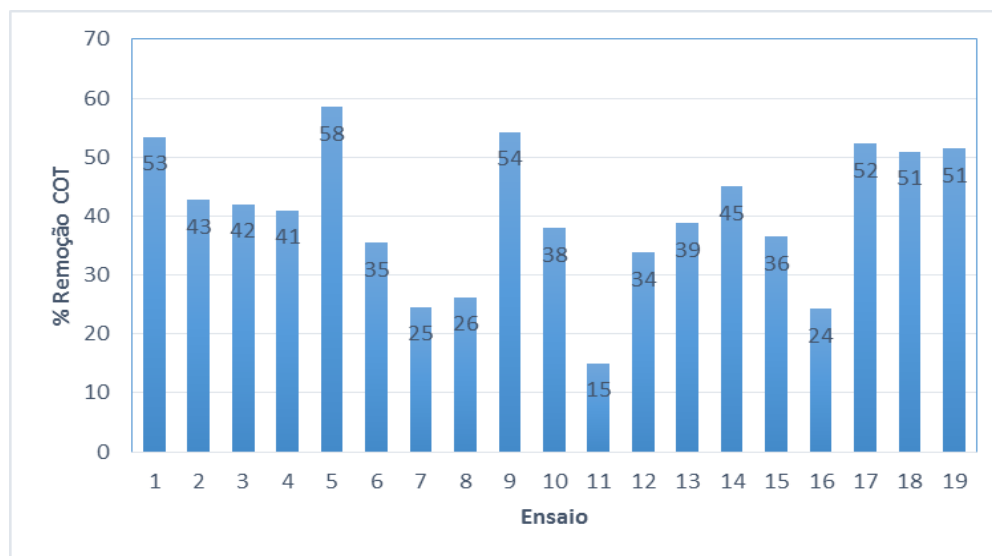


Figura 1 – Remoção percentual de COT após POA (Fenton e foto-Fenton).

Analisando os resultados, o ensaio 5 foi o que apresentou a maior remoção de COT, 58%, apresentando o máximo de dosagem de  $H_2O_2$ , a máxima proporção de  $Fe:H_2O_2$ , tempo de reação mínimo e a máxima de radiação solar. Em relação ao lixiviado bruto, essa remoção de COT foi de 72%.

Filho et. al. (2012) estudaram aplicação de POA (Fenton e foto-Fenton) para o tratamento de lixiviado, obtendo 69% de remoção de COT. Antes da aplicação do POA, acidificaram a amostra até pH 1 com ácido sulfúrico 0,1M para a precipitação e subsequente remoção dos ácidos húmicos, interferentes da análise de DQO. Comparando os resultados de remoção de COT, pode-se dizer que esse foi satisfatório, podendo ser realizadas alterações nas variáveis independentes para um processo mais eficiente.

## 4. CONCLUSÃO

Realizando os planejamentos experimentais, foi possível diminuir a quantidade de ensaios e analisar a influência das variáveis independentes.



O planejamento experimental de coagulação/floculação utilizando o coagulante hidróxido de cálcio, obteve como condição ótima o ensaio 1, cujos resultados, relacionando a remoção da DQO e da cor, foram 52% e 22% respectivamente, com uma pequena diferença em relação ao ensaio 12 para a cor. O lodo gerado por esse procedimento foi de 10% para 1L de lixiviado tratado.

O planejamento experimental de coagulação/floculação utilizando o coagulante de sais de sulfato de alumínio polimerizado, obteve como condição ótima o ensaio 1, onde foram encontradas os melhores resultados, relacionando a remoção de DQO e de cor, 44% e 55%, respectivamente. O lodo gerado por esse processo foi, aproximadamente, 40% para 1L de lixiviado tratado.

Comparando as condições ótimas dos coagulantes e o lodo gerado, conclui-se que o hidróxido de cálcio é o mais indicado já que obteve maior remoção de DQO, ou seja, matéria orgânica e gerou um volume bem menor de lodo. Isto é, o coagulante de hidróxido de cálcio possui um melhor custo-benefício.

Com a aplicação dos POA no lixiviado previamente tratado por coagulação/floculação, obteve-se, na condição ótima do planejamento, uma remoção de 58%, já em relação ao lixiviado bruto, a remoção foi de 72%. Pode-se dizer que o resultado foi satisfatório em comparação com outros estudos, podendo realizar algumas alterações na metodologia e/ou nas variáveis independentes para um processo mais eficiente.

## 5. REFERÊNCIAS

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIRONMENT FEDERATION. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 20ª ed., Washington, D.C, 1998.
- ARAGÃO, I. L. S.; LIMA, N. S.; LIMA, A. S.; CAVALCANTI, E. B. Tratamento de chorume pelo processo oxidativo avançado Fenton. *Encontro Sobre Aplicações Ambientais de Processos Oxidativos Avançados (V EPOA)*, São Paulo, 2009.
- GERALDO FILHO, P. R.; MOSCIATTI J. V. D.; DIAS, N. C.; BRAGA, M. C. B.; Sottoriva, P. R. S. Tratamento do chorume gerado no aterro sanitário do Cachimba na RM de Curitiba-PR. *Encontro Sobre Aplicações Ambientais de Processos Oxidativos Avançados (V EPOA)*, São Paulo, 2009.
- MELLO, V. F. B. Otimização do tratamento de lixiviados e corantes por processos físico-químicos. *Dissertação de Mestrado*, UFPE – CTG, 2011.
- MORAVIA, W. G. Avaliação do tratamento de lixiviado de aterro sanitário através de processo oxidativo avançado conjugado com sistema de separação por membrana. *Tese de Doutorado*, Escola de Engenharia da UFMG, 2010.
- ROCHA, E. E. M. Precipitação química associada aos processos de tratamento de lixiviados. *Tese de Doutorado*, UFPE – CTG, 2013.