



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**  
**DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA RURAL**  
**ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL**

**TRATAMENTO DO LIXIVIADO POR PROCESSOS COMBINADOS:  
PROCESSOS FOTOCATALÍTICOS COM OU SEM  
COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO**

**CINTHIA RAQUEL SANTOS DA SILVA**

**RECIFE, FEVEREIRO/2018**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**  
**DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA RURAL**  
**ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL**

**TRATAMENTO DO LIXIVIADO POR PROCESSOS COMBINADOS:  
PROCESSOS FOTOCATALÍTICOS COM OU SEM  
COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO**

**Aluno:** Cinthia Raquel Santos da Silva

**E-mail:** cinthiaraquell@hotmail.com

**Telefone:** (81) 96452795

Relatório de Estágio Supervisionado Obrigatório vinculado ao Curso de Engenharia Agrícola e Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheira Agrícola e Ambiental.

**Professor Orientador: Rosangela Tavares Gomes**

**RECIFE, Fevereiro/2018**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE  
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

S586t Silva, Cinthia Raquel Santos da  
Tratamento do lixiviado por processos combinados: processos  
fotocatalíticos com ou sem coagulação/floculação / Cinthia Raquel  
Santos da Silva. – Recife, 2017.  
20 f.: il.

Orientador(a): Rosangela Gomes Tavares.  
Coorientador(a): Gledson Luiz Pontes de Almeida  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade  
Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Tecnologia Rural,  
Recife, BR-PE, 2017.  
Inclui referências e apêndice(s).

1. Aterro sanitário 2. Lixiviação 3. Resíduos  
industriais 4. Substâncias perigosas 5. Águas residuais - Purificação -  
Floculação 6. Relatórios I. Tavares, Rosangela Gomes, orient. II.  
Almeida, Gledson Luiz Pontes de, coorient. III. Título

CDD 630

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**

**DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA RURAL**

**ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL**

**TRATAMENTO DO LIXIVIADO POR PROCESSOS COMBINADOS:  
PROCESSOS FOTOCATALÍTICOS COM OU SEM COAGULAÇÃO/  
FLOCULAÇÃO**

---

**Aluna: Cinthia Raquel Santos da Silva**

---

**Professor Orientador: Rosangela Gomes Tavares**

---

**Coordenador: Gledson Luiz Pontes de Almeida**

**RECIFE, FEVEREIRO/2018**



# SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	4
2. OBJETIVOS DO PROJETO	5
2.1.OBJETIVOS E METAS DO PROJETO	5
3. PRINCIPAIS ETAPAS EXECUTADAS	5
4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO SUSCINTA DOS PRINCIPAIS RESULTADOS OBTIDOS	10
5. CONCLUSÃO	15
6. DIFICULDADES ENTRADAS	15
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	16

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo Gomes (2009), no lixiviado estão componentes orgânicos e inorgânicos, assim como substâncias tóxicas, provenientes do recebimento de resíduos industriais, ou mesmo perigosas de maneira inadvertida nos aterros. Essas substâncias perigosas que eventualmente existem na massa de resíduos sólidos podem causar danos ambientais se atingirem o lençol freático ou as águas superficiais, além de serem prejudiciais em caso de emissões de gases voláteis para a atmosfera. Esses efeitos danosos podem se estender a comunidade animal e vegetal aquática e aos seres humanos que dela se utilizam.

A percolação de água da chuva através de camadas de resíduos em aterros municipais gera águas residuais de alto poder poluidor também conhecido como lixiviado. O lixiviado desses aterros, normalmente, contém altas concentrações de matéria orgânica (MO) dissolvida e em suspensão e compostos inorgânicos, tais como, amônia, portanto, o descarte irregular desse efluente pode representar um grande impacto ao meio ambiente do entorno (Pastor e Hermandes, 2012). A composição do lixiviado varia de acordo com o aterro e as oscilações de vazão ao longo do ano e isso se deve ao regime de chuvas que são alguns dos problemas para o tratamento desse efluente. O lixiviado gerado a partir de um aterro jovem contém uma grande fração de baixo peso molecular de MO biodegradável que pode se submetido a processos de tratamento biológicos secundários, tais como processos de lodo ativados. Por outro lado, os lixiviados oriundos de aterros maduros, mais especificamente, a partir da fase metano gênica do aterro, é denominado por ácidos húmicos e fúlvicos como constituintes da MO e biologicamente refratários. Esses componentes da MO podem reduzir a eficácia dos processos de tratamento biológicos e necessitarem tratamento físico-químico preliminar (Singh et al., 2012).

Os processos físico-químicos mais comuns que são usados para reduzir os constituintes refratários da MO do lixiviado são: coagulação/floculação (Comstock et al., 2010) troca aniônica (Singh et al., 2012a), adsorção com carvão ativado (Maronon et al., 2009; Singh et al., 2012b), e oxidação química (Rivas et al., 2014; Tizaoui et al., 2007). Esses processos físico-químicos são muitas vezes utilizados como pré-tratamento ou pós-tratamento para a etapa dos processos biológicos (Tang, 2013).

Na última década, a aplicabilidade dos Processos Oxidativos Avançados (POAs) para remoção de MO e aumento da biodegradabilidade dos lixiviados ganhou um interesse significativo por vários pesquisadores (Umar et al., 2010). Por exemplo, o processo de Fenton remove uma grande variedade de MO e foi estudado por vários investigadores para o tratamento de vários tipos de operações industriais e efluentes residenciais incluindo lixiviado (Deng e Englehardt, 2006, Guimarães et al., 2012; Modenes et al., 2012). Também foi estudado por Morais e Peralta Zamora (2005), Wang et al., (2002) e Poznyak et al (2008) que a degradação dos compostos orgânicos recalcitrantes e a remoção do nitrogênio pode ser conseguida pelos processos de oxidação avançada (POAs).

Devido a cadeia de constituintes existentes nos lixiviados, e as variações quantitativas sazonais e cronológicas (pelo aumento da área exposta), não se deve considerar uma solução única do processo para seu tratamento (Hamada & Matsunaga, 2000). Deve-se empregar uma combinação de processos, com cada um representando uma função específica no tratamento de lixiviados (Hamada, 2002).

Do ponto de vista ambiental, a preocupação desses sistemas reside, principalmente, no gerenciamento dos efluentes líquidos, seja na forma de lixiviados ou águas do escoamento superficial. Quanto ao lixiviado, a maioria dos aterros não dispõe de um sistema efetivo de drenagem e tratamento. Quanto a drenagem sub-superficial, normalmente verificam-se volumes de lixiviados muito aquém daquele previsto em projeto, normalmente pelo balanço hídrico clássico. O lixiviado assim obtido, normalmente é encaminhado para lagoas de tratamento que não receberam a devida impermeabilização ou são simplesmente recirculados a partir de poços de sucção ou tanques de armazenamento (Hamada, 2000).

Amokane et al., (1997) afirmam que o hidróxido de cálcio é o reagente mais utilizado na precipitação química, requerendo, geralmente, entre 1 a 15 mg/L deste reagente no tratamento de lixiviado de aterros. O hidróxido de cálcio pode ser implementado como um pré-tratamento de um

sistema biológico uma vez que a cal hidratada remove da solução grande quantidade de metais pesados e parte a matéria orgânica, em especial as substâncias húmicas responsáveis por conferir cor ao lixiviado e inibir processos fotossintéticos e fotoquímicos essenciais ao desenvolvimento dos microrganismos, principalmente nas lagoas facultativas e aeradas (Lins et al., 2007).

Renou et al., (2008) trataram lixiviado de aterro sanitário utilizando 2, 4 e 6 g/L de cal hidratada e obtiveram respectivamente uma eficiência de remoção para DQO de 25,5%, 18% e 0,4%, Nitrogênio Amomiacal uma faixa de 20 a 50%; Ferro, 75%; alcalinidade na faixa de 80 a 90%. Para outros ensaios realizados, esses autores obtiveram uma remoção de 20-30% de DQO, essencialmente macromoléculas orgânicas refratárias, como os ácidos húmicos (Renou et al., 2008).

Silva (2008) tratando lixiviado pelo processo de precipitação química promoveu uma pequena remoção de matéria orgânica (19 a 36% e DBO), além de 60% a cor e 50% da turbidez para um lixiviado biodegradável.

Uma pesquisa avaliou a eficiência do processo de coagulação/floculação seguido do processo oxidativo avançado Reagente de Fenton na degradação do chorume produzido pelo lixão da "Terra Dura", Aracaju- SE. A demanda química de oxigênio (DQO) obtida foi próxima a 70%, com redução de 61,5% em cor (Aragão et al., 2009).

O chorume gerado pelo aterro sanitário do Cachimba da região metropolitana de Curitiba-PR foi tratado com o processo foto-Fenton. O carbono orgânico dissolvido e a cor tiveram redução de 66% e 59%, respectivamente (Geraldo Filho et al., 2009).

## **2. OBJETIVOS DO PROJETO DO ALUNO**

### **2.1. Objetivos e Metas do Projeto**

Ao realizar o desenvolvimento do processo de tratamento de lixiviado, que se encontra no Aterro Controlado da Muribeca, colocam-se no presente plano de trabalho os seguintes objetivos e metas do projeto:

- Tratamento preliminar do lixiviado por uso do processo de precipitação por coagulação/floculação seguida da descontaminação do lixiviado por uso dos Processos Oxidativos Avançados derivados da ação do peróxido de hidrogênio.
- O lixiviado deverá encerrar os processos com baixo teor de matéria orgânica, uma baixa cor e um odor menos intenso. Obtendo assim um descarte do seguro do mesmo nos corpos hídricos atendendo a legislação vigente.

## **3. PRINCIPAIS ETAPAS EXECUTADAS**

Foram realizados estudos com o lixiviado bruto, de coagulação e floculação, além de realizar a cinética da reação. Foram realizados um pré-tratamento deste lixiviado, processo de precipitação química, com hidróxido de cálcio SP diluído em água destilada (leite de cal), utilizando variáveis de processo como: velocidade de rotação na floculação, tempo de mistura lenta e tempo de sedimentação.

Após os ensaios, procederam-se as análises do lixiviado tratado, analisando os que apresentaram a maior eficiência quanto à remoção da cor e DQO.

Em seguida utilizou-se os dados do ensaio que obteve melhor resultado para preparar lixiviados pré-tratados para realizar o procedimento da oxidação avançada, analisando os resultados através da eficiência de remoção do COT.

Por fim, foram feitas análises com diferentes pH para o estudo da oxidação avançada.

### **➤ Planejamento Experimental para Precipitação Química utilizando hidróxido de cálcio.**

Neste estudo, utilizou-se planejamento fatorial completo  $2^4$ , envolvendo variáveis dependentes como: massa de coagulante, tempo floculação (mistura lenta), velocidade de rotação na floculação e tempo de sedimentação, como mostra na Tabela 1.

A velocidade de rotação e tempo de coagulações não foram consideradas variáveis porque as mesmas não foram significativas, em estudos realizado por Melo (2011), utilizando cal no tratamento de lixiviados da Muribeca.

**Tabela 1:** Variáveis e níveis considerados para o planejamento  $2^4$

Variáveis	Inferior (-)	Central (0)	Superior (+)
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

A velocidade de rotação para coagulação adotada foi de 115 rpm e tempo de mistura rápida adotado foi de 1 minuto, baseados em estudos realizados por Melo (2011).

As faixas das variáveis utilizadas nos ensaios, foram estipuladas baseando-se em valores estudados por Yilmaz et al. (2010), Melo (2011), Paulino (2011), Nagashima et al. (2009) e Lins (2011).

O planejamento fatorial  $2^4$  utilizado nos ensaios estão presentes na Tabela 2, os quais foram realizados em duplicata com triplicata no ponto central.

**Tabela 2:** Variáveis e níveis considerados nos ensaios de precipitação química

Ensaio	Massa (g)	Rotação na floculação (rpm)	Tempo de mistura lenta (min)	Tempo de sedimentação (min)
1	15,0	108	25	60
2	15,0	108	25	10
3	15,0	108	5	60
4	15,0	108	5	10
5	15,0	36	25	60
6	15,0	36	25	10
7	15,0	36	5	60
8	15,0	36	5	10
9	5,0	108	25	60
10	5,0	108	25	10
11	5,0	108	5	60
12	5,0	108	5	10
13	5,0	36	25	60
14	5,0	36	25	10
15	5,0	36	5	60
16	5,0	36	5	10
17	10,0	72	15	35
18	10,0	72	15	35
19	10,0	72	15	35

O processo de precipitação química foi realizado em um equipamento denominado “Jar Test”, Figura 1. Após a análise estatística, foi identificada a condição ótima do processo de coagulação/floculação.

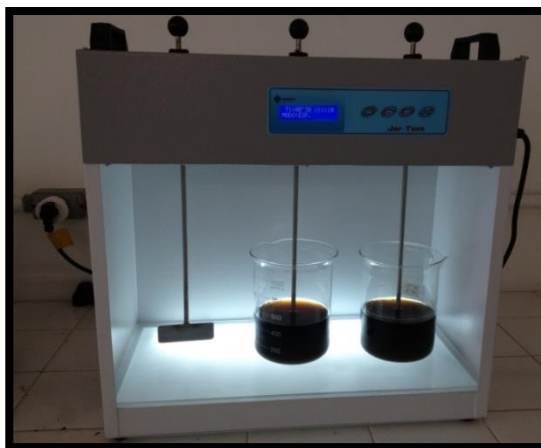


Figura 1. Equipamento de *Jar Test* utilizado nos ensaios de precipitação química.

As amostras foram postas em repouso para decantação pelo tempo determinado no planejamento experimental. Posteriormente, foram medidas a DQO e a cor (colorímetro MERK spectroquant modelo Nova 60). Os dados foram analisados no software *Statistica Versão 5.0*.



Figura 2. Equipamento *spectroquant modelo Nova 60* da MERK

### ➤ **Aplicação dos Processos Oxidativos Avançados (Fenton e Foto-Fenton) no Lixiviado Tratado por Precipitação Química**

Após o tratamento do lixiviado bruto através do processo de precipitação química, coagulação/floculação em sua melhor condição, aplicou-se os POA utilizando como reagentes uma solução de peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) em concentração de 50% (v/v) e sulfato ferroso hepta-hidratado ( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ) sólido.

Nesta etapa, os ensaios foram realizados em béqueres de 600 mL contendo 200 mL do lixiviado pré-tratado, foi realizado o ajuste de pH aproximadamente igual a 3 com ácido sulfúrico (adição lenta), em seguida foram adicionados sulfato ferroso hepta-hidratado ( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ) e foram adicionados a solução de peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) em concentração de 50% (v/v), deixando sob radiação ultravioleta, ou não, seguindo o planejamento fatorial descrito na Tabela 4. Na Tabela 3, está descrito a que se refere os símbolos -1, 0 e +1. Após um tempo de reação específica para cada ensaio do planejamento foi adicionada uma solução de sulfito para parar a reação e em seguida as amostras foram retiradas e quantificadas suas DQO.

**Tabela 3:** Quantidades utilizadas na Oxidação avançada.

Níveis	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>		Fe:H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>		t(min)	Radiação solar
	Fator*	Valor (g/L)	Prop**	Valor (g/L)		
+1	1,5	3,40	1:1	1,13	30	Presente
0	1	2,26	1:5	0,23	45	Presente
-1	0,5	1,13	1:10	0,11	60	Ausente

**Tabela 4:** Planejamento da Oxidação Avançada.

Ensaio	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Fe:H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Tempo	Radiação
1	+1	+1	+1	+1
2	-1	+1	+1	+1
3	+1	-1	+1	+1
4	-1	-1	+1	+1
5	+1	+1	-1	+1
6	-1	+1	-1	+1
7	+1	-1	-1	+1
8	-1	-1	-1	+1
9	+1	+1	+1	-1
10	-1	+1	+1	-1
11	+1	-1	+1	-1
12	-1	-1	+1	-1
13	+1	+1	-1	-1
14	-1	+1	-1	-1
15	+1	-1	-1	-1
16	-1	-1	-1	-1
17	0	0	0	0



Figura 3. Realização do processo de oxidação avançada para os ensaios com presença de radiação solar.

### ➤ Cinética da Reação

Inicialmente, foi realizado um procedimento para identificar a ordem da reação que relacionará o decaimento da concentração do peróxido de hidrogênio em função da concentração do carbono orgânico total no lixiviado no tratamento do POA. A equação abaixo mostra a reação simplificada da degradação do COT.

$$\frac{d[\text{COT}]}{dt} = -K [\text{H}_2\text{O}_2]^n \cdot [\text{COT}]^m$$

Para determinar o valor de n e m, foi realizado a cinética para os 5 primeiros minutos da reação, variando a quantidade de peróxido utilizado e a quantidade de amostra para a realização do COT.

Na primeira cinética utilizou-se a quantidade de peróxido e COT necessária para a reação, logo temos que:

$$\frac{\Delta[\text{COT}]}{dt} = -K \cdot [\text{H}_2\text{O}_2]^n \cdot [\text{COT}]^m$$

Na segunda cinética, utilizou-se a metade da quantidade de amostra para a realização do COT com a quantidade de peróxido total, logo temos que:

$$\frac{\Delta[\text{COT}]}{dt} = -K \cdot [\text{H}_2\text{O}_2]^n \cdot \left[\frac{[\text{COT}]}{2}\right]^m$$

Dividindo a primeira cinética pela segunda cinética, temos que:

$$\text{Valor} = \frac{\frac{[\text{COT}]_0 - [\text{COT}]}{t - t_0}}{\frac{[\text{COT}]_0 - [\text{COT}]}{t - t_0}} = \frac{-K \cdot [\text{H}_2\text{O}_2]^n \cdot [\text{COT}]^m}{-K \cdot [\text{H}_2\text{O}_2]^n \cdot \left[\frac{[\text{COT}]}{2}\right]^m}$$

Logo, Valor =  $2^m$

$$\log \text{Valor} = m \cdot \log 2$$

$$m = \frac{\log \text{Valor}}{\log 2}$$

Na terceira cinética, utilizou-se a metade da quantidade de peróxido com a quantidade de COT total, logo temos que:

$$\frac{\Delta[\text{COT}]}{dt} = -K \cdot \left(\frac{[\text{H}_2\text{O}_2]}{2}\right)^n \cdot [\text{COT}]^m$$

Dividindo a primeira cinética pela segunda cinética, temos que:

$$\text{Novo Valor} = \frac{\frac{[\text{COT}]_0 - [\text{COT}]}{t - t_0}}{\frac{[\text{COT}]_0 - [\text{COT}]}{t - t_0}} = \frac{-K \cdot [\text{H}_2\text{O}_2]^n \cdot [\text{COT}]^m}{-K \cdot \left(\frac{[\text{H}_2\text{O}_2]}{2}\right)^n \cdot [\text{COT}]^m}$$

Logo, Novo Valor =  $2^n$

$$\log \text{Novo Valor} = n \cdot \log 2$$

$$n = \frac{\log \text{Novo Valor}}{\log 2}$$

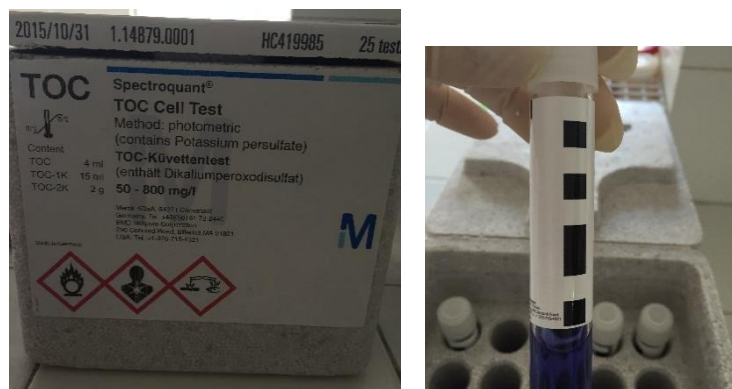


Figura 4. Kits de COT para teste em cubeta, na faixa de 50 – 800 mg.L<sup>-1</sup> da MERK para ser lido no *spectroquant modelo Nova 60*



Figura 5. Digestor WTW CR 2200 utilizado para a preparação das amostras para análise de COT.

#### 4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO SUSCINTA DOS PRINCIPAIS RESULTADOS OBTIDOS

##### ➤ Caracterização do Lixiviado Bruto

O lixiviado bruto foi analisado sob alguns parâmetros, a fim de caracterizar a sua composição, a **Erro! Fonte de referência não encontrada.**5 contém os dados da caracterização. Esse lixiviado foi utilizado até o fim dos experimentos.

Tabela 1 - Caracterização do lixiviado bruto

<b>Parâmetros</b>	<b>Resultados</b>
DQO (mg/L)	617,93
DBO (mg/L)	142,10
pH	8,11
Cor (Hz)	535
Turbidez (NTU)	4,85
SST (mg/L)	5,8
SSV (mg/L)	1,8
SSF (mg/L)	4,0
ST (mg/L)	3387,24
SF (mg/L)	771,07
SV (mg/L)	2616,17

Como pode-se perceber, os valores da DQO do lixiviado bruto está muito baixo, isto se deve ao fato que desde 2009 o Aterro não recebe mais lixos. Logo, não seria necessário realizar os tratamentos preliminares proposto na planta de tratamento. Porém, para outras amostras de lixiviado esse tratamento preliminar é necessário, com isso foi realizado os testes laboratoriais para o dimensionamento da planta de tratamento.

##### ➤ Hidróxido de Cal.

Para a análise da melhor condição dos processos de precipitação química com o coagulante de hidróxido de cálcio, obtiveram os seguintes resultados para DQO e cor, Tabela 6.

Tabela 6. Resultados da DQO e cor após realização da coagulação/floculação/sedimentação utilizando a cal.

<b>Ensaio</b>	<b>Massa (g)</b>	<b>Rot. floc. (rpm)</b>	<b>T floc. (min)</b>	<b>t sediment. (min)</b>	<b>% Remoção DQO média</b>	<b>% Remoção Cor média</b>
1	+1	+1	+1	+1	<b>13,79</b>	5,81

2	+1	+1	+1	-1	11,24	5,23
3	+1	+1	-1	+1	11,35	4,53
4	+1	+1	-1	-1	11,08	3,25
5	+1	-1	+1	+1	12,44	3,60
6	+1	-1	+1	-1	7,42	5,46
7	+1	-1	-1	+1	11,22	4,27
8	+1	-1	-1	-1	12,53	3,37
9	-1	+1	+1	+1	8,74	4,07
10	-1	+1	+1	-1	10,22	3,48
11	-1	+1	-1	+1	6,07	2,44
12	-1	+1	-1	-1	10,33	<b>6,04</b>
13	-1	-1	+1	+1	6,20	4,07
14	-1	-1	+1	-1	10,26	2,21
15	-1	-1	-1	+1	2,44	4,06
16	-1	-1	-1	-1	7,76	4,99
17	0	0	0	0	8,85	1,97
18	0	0	0	0	8,60	1,86

De acordo com os resultados, obteve-se uma remoção máxima de 13,79 % de DQO (ensaio 1) e 6,04% (ensaio 12) de cor em relação ao lixiviado bruto. No ensaio 1, foram obtidas as melhores condições relacionando a DQO e a cor, 13,79% e 5,81% respectivamente, com uma diferença insignificante em relação ao ensaio 12 para a cor, sendo esse ensaio a condição ótima do planejamento. Os valores baixos das remoções, se justifica pela baixa DQO do lixiviado bruto.

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.

### ➤ Oxidação Avançada

Na Figura 22 mostra os resultados da remoção de COT após o planejamento do POA utilizando o lixiviado preliminarmente tratado por coagulação/floculação com hidróxido de cálcio.

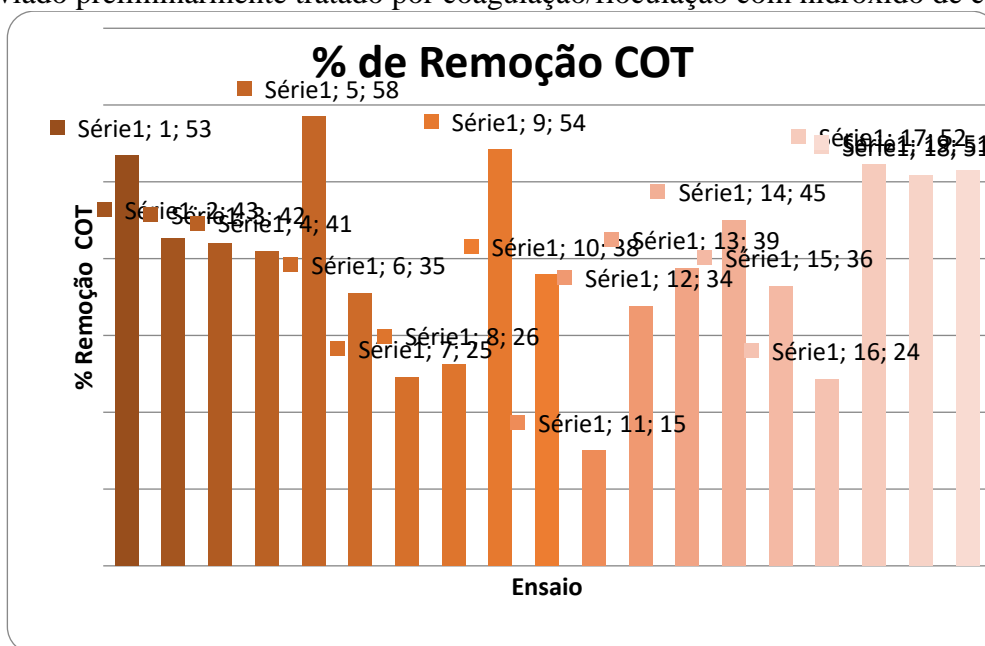


Figura 2 - Remoção percentual de COT após POA (Fenton e foto-Fenton).

Analisando os resultados, o ensaio 5 foi o que apresentou a maior remoção de COT, 58% do lixiviado coagulado, apresentando o máximo de dosagem de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, a máxima proporção de

Fe:H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, 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.

### ➤ Cinética da Reação

Ao realizar o estudo da cinética variando as concentrações do COT e do H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, foi possível encontrar a ordem da reação. Os valores médios de n e m calculados nos primeiros 5 minutos da reação, estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2. Valores da Ordem da reação

COT	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
m	n
2,036	0,139

Logo, podemos considerar que o m = 2 e n = 0 para a reação da cinética, pois a quantidade de peróxido não irá influenciar de modo significativo a velocidade da reação. Portanto, a equação da cinética é:

$$\frac{d[\text{COT}]}{dt} = -K \cdot [\text{H}_2\text{O}_2]^0 \cdot [\text{COT}]^2$$

Logo, para achar o valor de k, linearizou-se a equação da cinética e em seguida plotou-se um gráfico com os valores experimentais da **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, conforme mostra a Figura 3.

$$\frac{1}{[\text{COT}]} = \frac{1}{[\text{COT}]_0} + K \cdot t$$

Tabela 3. Valores do COT obtidos experimentalmente na cinética

Tempo (min)	[COT]exp (mg/L)	[COT] (mol/l)	1/[COT] exp
0,000	702,000	0,059	17,094
1,000	658,500	0,055	18,223
2,000	642,500	0,054	18,677
3,000	628,500	0,052	19,093
4,000	600,500	0,050	19,983
5,000	576,000	0,048	20,833
10,000	459,000	0,038	26,144
30,000	329,000	0,027	36,474
60,000	230,000	0,019	52,174

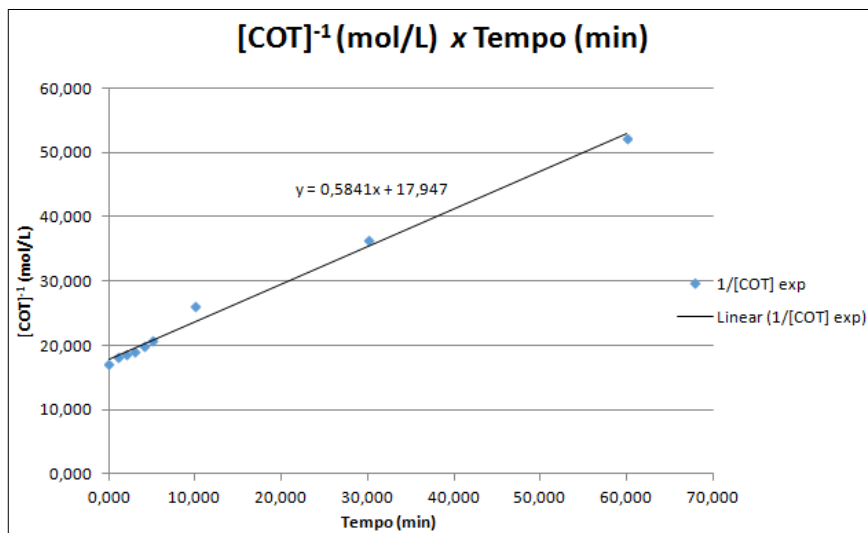


Figura 3. Gráfico dos valores obtidos experimentalmente.

Logo, o valor da constante da cinética,  $k = 0,5841$  (L/mol.min).

Os valores obtidos experimentalmente foram comparados com os valores teóricos para verificar se os mesmos são satisfatórios, logo os valores teóricos estão descritos na Tabela 4 e o gráfico com os valores de ambos estão na Figura 44.

Tabela 4 - Valores do COT teóricos da cinética

Tempo (min)	[COT] teórico (mg/L)	[COT] (mol/l)	1/[COT]teórico
0,000	702,000	0,059	17,094
1,000	678,805	0,057	17,678
2,000	657,094	0,055	18,262
3,000	636,729	0,053	18,846
4,000	617,588	0,051	19,430
5,000	599,565	0,050	20,015
10,000	523,217	0,044	22,935
30,000	346,650	0,029	34,617
60,000	230,150	0,019	52,140

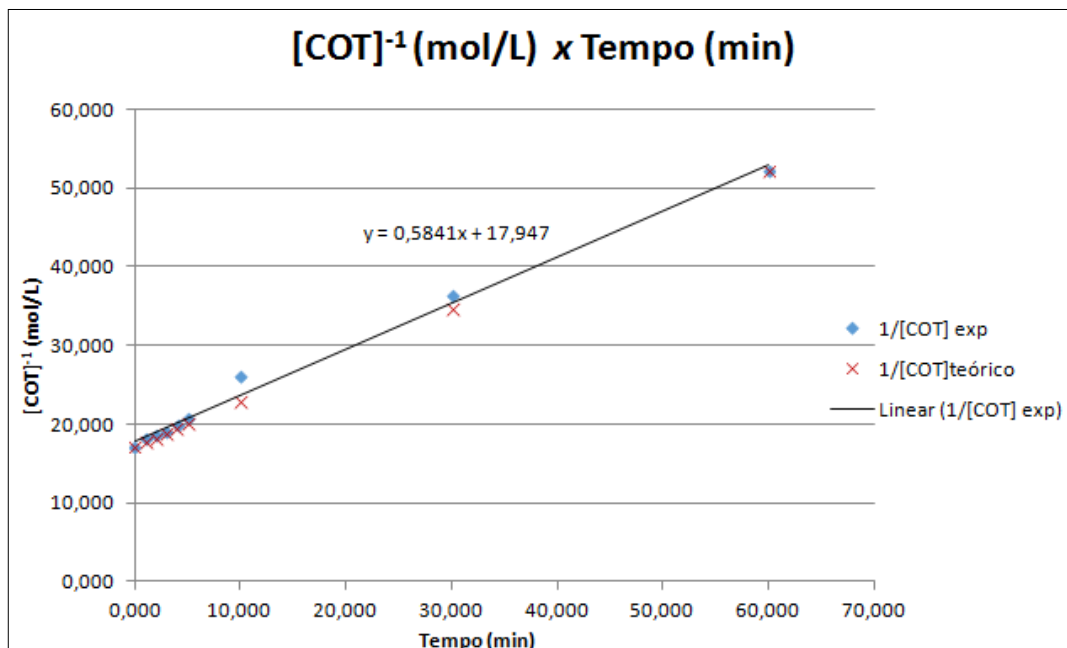


Figura 4 . Gráfico valores experimentais x valores teóricos

Como pode ser visto na figura 5, os valores obtidos experimentalmente são muito próximos aos teóricos, logo os resultados são satisfatórios.

Com os valores obtidos, calculou-se a eficiência do tratamento do POA. A equação utilizada para este cálculo é dada por:

$$Eficiência = \frac{[COT]_o - [COT]}{[COT]_o} \times 100\%$$

Onde:  $[COT]_o$  = concentração inicial do carbono orgânico total.

$[COT]$  = concentração final do carbono orgânico total.

Logo, a eficiência do tratamento é igual a:

$$Eficiência = \frac{0,059 \frac{mol}{L} - 0,019 \frac{mol}{L}}{0,059 \frac{mol}{L}} \times 100\% = 67,80\%$$

Como dito anteriormente, o lixiviado bruto já estava bastante diluído devido ao tempo de inatividade do Aterro da Muribeca.

Com a cinética, conclui-se que o tempo de residência do reator deve ser de 1 hora, pois até este tempo foi observado uma remoção do COT em 67,80%, obtendo-se assim um resultado satisfatório na remoção do mesmo.

### ➤ Análise com diferentes pH

Foram realizados as medições com diferentes valores de pH do ácido ao neutro, analisando a DQO, Turbidez, Cor, Nitrogênio Amoniacal e Nitrato para o estudo da oxidação avançada. Os valores descritos na tabela 10, abaixo.

Tabela 10- Valores com as variações do pH

	DQO (mg/L)	Turbidez (NTU)	Cor (Hazen)	Nitrogênio Amoniacal(mg/L)	Nitrato (mg/L)
Lixiviado Bruto	1225,49	70,9	1810	0,12	15,0
Lixiviado Coagulado	1113,12	13,3	1880	0,07	13,2
Lixiviado B. pH 3	1320,3	100,0	1700	0,08	14,6
Lixiviado B. pH 4	1639,84	79,2	1650	0,14	14,6
Lixiviado B. pH 5	1225,49	27,8	1510	0,16	15,2
Lixiviado B. pH 6	2173,58	23,5	1440	0,10	14,3
Lixiviado C. pH 3	1158,77	66,1	1260	<0,05(0,03)	12,9
Lixiviado C. pH 4	1316,79	28,9	1230	0,70	12,3
Lixiviado C. pH 5	1229,00	21,2	1270	0,70	12,8
Lixiviado C. pH 6	145373	11,3	1260	0,08	12,1

Conclui-se com os resultados das variações do pH que houve uma variação entre os resultados, por se tratar de um Aterro Controlado, onde já foi desativada suas funções.

## 5. CONCLUSÃO

Foi concluído no projeto de pesquisa, que as análises realizadas foram satisfatórias, mesmo se tratando de um Aterro Controlado e que teve suas atividades finalizadas em 2009. O decaimento de DQO e da Cor, no lixiviado bruto e do lixiviado tratado foram mais satisfatórios no lixiviado tratado. O uso do POA foi satisfatório na remoção do COT. A variação do pH nas análises de DQO, Cor, Turbidez, Nitrogênio Amoniacal e Nitrato não obteve resultados significativos.

## 6. DIFICULDADES ENCONTRADAS

Ao realizar todos esses planejamentos, os resultados obtidos ainda não foram satisfatórios, pois percebe-se que ao realizar a DQO obtêm-se muitas interferências.

Vogel et al (2000) classificaram as substâncias que interferem no teste de DQO em: completamente; parcialmente; e dificilmente oxidáveis. Segundo esses pesquisadores, os íons sulfeto, nitrito, cloreto e Fe (II) seriam completamente oxidáveis, enquanto o íon amônio seria dificilmente oxidável.

A variável dependente ou de resposta para esse planejamento mais indicada para quantificar a matéria orgânica seria o carbono orgânico total (COT) já que a DQO é sensível aos compostos contidos tanto na amostra quanto no procedimento utilizado. Portanto, o planejamento foi realizado com o COT.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAGÃO, I. L. 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.

DENG, Y., ENGLEHARDT, J. D. Treatment of landfill leachate by the Fenton process.

GERALDO FILHO, P. R.; MOCIATTI 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.

GOMES, LUCIANA P. Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras. Rio de Janeiro, RJ. PROSAB. ABES, 2009.

LINS, E. A. M. A utilização da capacidade de campo na estimativo do percolado gerado no Aterro da Muribeca. 125 p. Dissertação (Mestrado) – UFPE – Recife, 2003.

LINS, E. A. M., JUCÁ, J. F. T. A utilização de métodos empíricos para a estimativa do percolado gerado no aterro da Muribeca. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 22, 2003, Joinville, SC. Anais... Joinville: ABES, 2003.

MARANON, E., CASTRILLON, L., FERNANDEZ-NAVA, Y., FERNANDEZ-MENDEZ, A. Tertiary treatment of landfill leachates by adsorption. Waste Manage. Res. V. 27, p. 527-533, 2009.

MELLO, V. F. B. Otimização do tratamento de lixiviados e corantes por processos físico-químicos. Dissertação de Mestrado, UFPE – CTG, 2011.

MODENES, A. N., ESPINOZA-QUINONES, F. R., MANENTI, D. R., BORBA, F. H., PALACIO, S. M., COLOMBO, A. Performance evaluation of a photo-Fenton process applied to pollutant removal from textile effluents in a batch system. J. Environ. Manage. V. 104, p. 1-8, 2012.

PASTOR, J., HERNANDEZ, A. J., Heavy metals, salts and organic residues in old solid urban waste landfills and surface waters in their discharge areas: determinants for restoring their impact. J. Environ. Manage. 95, p. 42-49. 2012.

PAULINO, P. M. S.; Avaliação do processo de coagulação/floculação seguido de radiação gama para tratamento de lixiviados. Dissertação de Mestrado, UFPE – CTG, 2011.

POZNYAK, T., BAUTISTA, G. L., CHAÍREZ, I., CÓRDOVA, R. I., RÍOS, L. E. Decomposition fo toxic pollutants in landfill leachate by ozone after coagulation treatment, J. Hazard. Mater. v. 152 p. 1108-1114, 2008.

RIVAS, F. J., BELTRAN, F., CARVALHO, F. ACEDO, B., GIMENO, O. Sabilized leachates: sequential coagulation-flocculation plus chemical oxidation process. J. Hazard. Mater. v. 116, p. 95-102. 2004.

SILVA, T. C. Avaliação do resíduo argiloso proveniente da indústria do alumínio como asdorvente de corantes têxteis. Dissertação de Mestrado. UFPE, Recife, 2008.

SINGH, S. K., TOWNSEND, T. G., BOYER, T. H. Evaluation of coagulation (FeCl<sub>3</sub>) and anion exchange (MIEX) for stabilized landfill leachate treatment and highpressure membrane pretreatment. *Sep. Purif. Technol.* V. 96, p. 98-106, 2012a.

TANG, W. Z., SINGH, S. K. Statical analysis of optimum Fenton oxidation conditions for landfeill leachate. *Waste Management*, Department of Civil and Environmental Engineering, Florida Internation University, v. 33, p. 81-88, 2013.

TIZAOUI, C., BOUSELMI, L., MANSOURI, L., GHRABI, A. Landfill leachate treatment with ozone and ozone/hydrogen peroxide systems. *J. Hazard. Mater.* v. 140, p. 316-324. 2007.

UMAR, M., AZIZ, H. A., YUSOFF, M. S. Trends in the use of Fenton, electro-Fenton and photo-Fenton for the treatment of landfill leachate. *Waste Manage.* 30, 2113 – 2121, 2010.

Z.P. Wang, Z. Zhang, Y. J. Lin, N. S. Deng, T. Tao, K. Zhuo, Landfill leachate treatment by a coagulation-photooxidation process, *J. Hazard. Mater.* v. 95, p. 153-159, 2002.

