

# Otimização do Processo Fotoquímico $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ para o Tratamento de Percolado de Aterro Sanitário

Núbia N. Brito, Giovani A. Brota, Ronaldo T. Pelegrini & José E. S. Paterniani

Este trabalho teve como objetivo estudar um sistema para o tratamento do percolado proveniente do aterro sanitário da cidade de Limeira-SP. O sistema consistiu em um tratamento preliminar por processo de filtração lenta e seqüencial tratamento por processo oxidativo avançado, sendo que, o tratamento fotoquímico utilizando  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$  foi experimentado no processo de remediação. Os tratamentos foram realizados em um reator de vidro Pyrex com capacidade volumétrica de 1,7 L (com dimensões de: 100 mm de diâmetro interno, 145 mm de diâmetro externo e altura total de 300 mm) equipado com refrigeração à água e sistema de recirculação interna do percolado. Para otimizar o processo foi avaliada a melhor metodologia para minimizar a coloração do percolado, um dos parâmetros de maior dificuldade de remoção. Os resultados apresentaram-se bastante satisfatório com redução da coloração do percolado na ordem de 89%: em 90 minutos de tratamento, temperatura de 45°C, lâmpada de 400 Watts e concentração de  $\text{H}_2\text{O}_2$  de 205  $\text{mg.L}^{-1}$ .

**Palavras-chave:** *percolado; aterro sanitário; fotoquímico.*

This work had as objective to study a system integrated for the remediation of the leachate originating from the sanitary landfill of Limeira-SP city. The system consisted in a preliminary treatment by a system of slow sand filtration and the subsequent treatment through advanced oxidative process, considering that the photochemical treatment technique with  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$  was experienced in remediation. The photochemical treatment was accomplished in a Pyrex glass reactor of approximately 1.7 L (100 mm of internal diameter, 145 mm of external diameter and total height of 300 mm). The experiments were carried out through water refrigeration and internal recirculation system of the leachate. To optimize the treatment process the best methodology it was evaluated to minimize the coloration of the leachate, one of the parameters of larger removal difficulty. The results were satisfactory with leachate coloration reduction in the order of: 89% in 90 min of treatment, 45°C temperature, 400 Watts lamp and 205  $\text{mg.L}^{-1}$  of  $\text{H}_2\text{O}_2$ .

**Keywords:** *leachate; sanitary landfill; photochemical.*

## Introdução

Uma das formas de emprego do processo fotoquímico com  $H_2O_2/UV$  se baseia na geração do radical hidroxila ( $\cdot OH$ ) utilizando peróxido de hidrogênio. O peróxido de hidrogênio, por ser um oxidante enérgico, é muito utilizado em processos de degradação de compostos recalcitrantes e também para eliminar a coloração persistente de efluentes pós-tratamentos biológicos. Por meio deste método, Shen e colaboradores (1995), estudaram a eficiência da decomposição de vários clorofenóis e verificaram que a substância 2-clorofenol, por exemplo, foi degradada em quase 100%, com 1 hora de tratamento.

O emprego do peróxido de hidrogênio combinado com a radiação UV (reação indireta) gera o radical hidroxila que é um agente químico com grande poder de oxidação (Equação 1). Radiações abaixo de 400 nm são capazes de fotolisar o  $H_2O_2$  provocando a cisão da molécula em dois radicais hidroxilas. O mecanismo aceito para a fotólise de peróxido de hidrogênio é a clivagem da molécula para radicais hidroxilas de acordo com a seguinte reação:



A reação do radical hidroxila é muito eficiente porque seu potencial de oxidação ( $E^\circ = +2,8 V$ ) é mais elevado que o do peróxido de hidrogênio molecular ( $E^\circ = +1,78 V$ ), podendo promover oxidação mais eficiente. Além disso, os radicais hidroxilas reagem com quase todo tipo de substância subtraindo dela elétrons ou átomos de hidrogênio ou ainda adicionando-se às duplas ligações (DOMINGUEZ, *et al.*, 2005; XU, *et al.*, 2005). Desta forma, o emprego do  $H_2O_2$  combinado com a radiação UV tem despertado grande interesse para uso em processos ambientais.

A decomposição de vários poluentes orgânicos presentes em rejeitos industriais tem sido efetivamente verificada através da geração de radicais hidroxila utilizando peróxido de hidrogênio e radiação UV (SCHRANK, *et al.*, 2005).

## Material e Métodos

Amostras de chorume foram obtidas de um aterro sanitário municipal com mais de 14 anos de idade localizado em Limeira (São Paulo, Brasil). Este aterro recebe resíduos sólidos municipais e resíduos industriais

classe IIA não inertes e IIB inertes (NBR 10.004, 2004). As amostras foram coletadas em garrafas de polipropileno e mantidas a 4°C, protegidas da luz. O peróxido de hidrogênio utilizado no processo fotocatalítico homogêneo foi o da marca Lafan- Química Fina, 10% m/m padronizado por titulação permanganométrica.

## TRATAMENTO FOTOQUÍMICO

O tratamento fotoquímico foi realizado em um reator de vidro Pyrex com capacidade de 1,7 L (100 mm de diâmetro interno, 145 mm de diâmetro externo e altura total de 300 mm) equipado com sistema de refrigeração à água e recirculação do chorume. Uma representação esquemática do reator pode ser visualizada na Figura 1.

A radiação UV foi provida por uma lâmpada de alta pressão de mercúrio (Philips HPL-N 250 e 400 W) com capacidade para e emitir comprimentos de onda na região do UV pela remoção do bulbo exterior localizado no centro do reator.

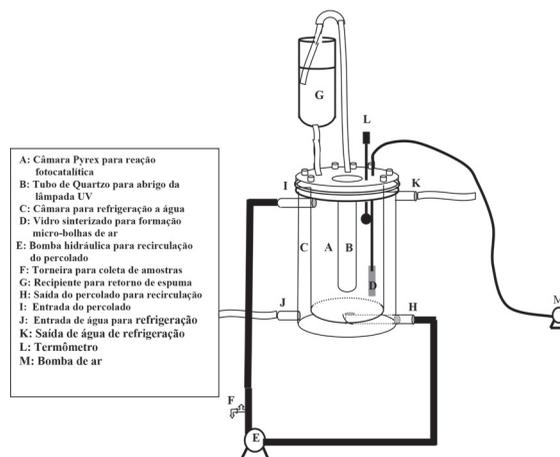


Figura 1. Esquema do reator fotocatalítico

Os experimentos foram processados utilizando refrigeração à água permitindo controlar a temperatura. A agitação do processo foi mantida contínua por meio da recirculação do percolado através de uma bomba hidráulica (Invensys Bav 1115-02U 220 V 60 Hz 34 W). O fornecimento de oxigênio para o processo fotocatalítico foi mantido por borbulhamento de ar através de um vidro sinterizado localizado na parte inferior do reator utilizando para isso um compressor com válvula controladora de vazão (Inalar Compact).

O volume de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, bem como o chorume a ser tratado era adicionada na parte superior do reator (G). Para o controle analítico, alíquotas foram retiradas em intervalos convenientes e centrifugadas.

## Resultados e Discussão

### ESTUDO DA OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO FOTOQUÍMICO UTILIZANDO H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV

Para dar início aos estudos foram utilizados percolado de aterro sanitário pós filtração lenta, lâmpada de 400 Watts, vazão de ar de 15 L.min<sup>-1</sup>, temperatura de 45°C e 40 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 10% realizando testes de 180 minutos com retirada de amostras para análises nos períodos indicados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Estudo do processo fotoquímico do percolado de aterro pós filtração lenta. Adição de 40 mL de solução de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a 10% em alíquotas de 10 mL. Vazão de ar 15 L.min<sup>-1</sup>; Temperatura 45°C; Lâmpada de 400 W.

	Tempo (min)	Volume de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mL)	Absorvância (400 nm) (fator de diluição 4)	Redução da Cor (%)
0	0	10	0,488	0
1	30	10	0,287	41,19
2	60	10	0,188	61,48
3	90	10	0,169	65,37
4	120		0,128	73,77
5	180		0,135	72,34

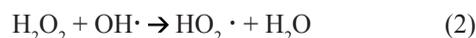
De acordo com a Tabela 1, pode-se observar uma redução da coloração do percolado de 72,34% em 180 minutos (Figura 2).

A partir dos resultados obtidos realizou-se um outro experimento acrescentando um volume de 50 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 10%, administrando-os de 10 em 10 mL a partir do início do tratamento. Na Tabela 2, estão apresentados os resultados da descoloração do percolado quando foram adicionados os 10 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 10% nos tempos: 0, 30, 60, 90 e 120 minutos. De acordo com os resultados que estão apresentados na Figura 3, nota-se que não houve redução da coloração do percolado quando foi adicionado os últimos 10 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 10%, demonstrando ser desnecessária a última alíquota.

**Tabela 2.** Estudo do processo fotoquímico do percolado de aterro pós filtração lenta. Adição de 50 mL de solução de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a 10% em alíquotas de 10 mL. Vazão de ar 15 L.min<sup>-1</sup>; Temperatura 45°C; Lâmpada de 400 W.

Testes	Tempo (min)	Volume de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mL)	Absorvância (400 nm) (fator de diluição 4)	Redução da Cor (%)
0	0	10	0,491	0
1	30	10	0,292	40,53
2	60	10	0,181	63,14
3	90	10	0,158	67,82
4	120	10	0,117	76,17
5	180		0,119	75,76

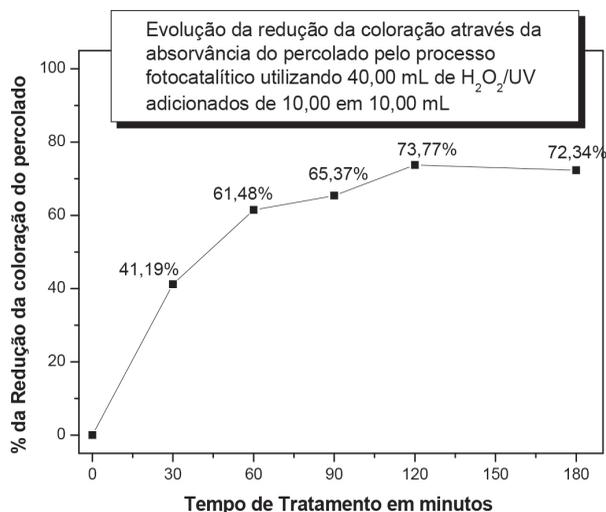
Pacheco e Peralta-Zamora (2004), estudando o tratamento fotoquímico observaram também uma diminuição da eficiência do processo ao aumentar a concentração de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, e explica que o caráter sequestrante (*scavenger*) de radicais hidroxila apresentado pelo peróxido de hidrogênio pode diminuir a eficiência do tratamento (Equações 2 e 3), assim como o processo de recombinação de radicais quando gerados em excesso (Equação 4).



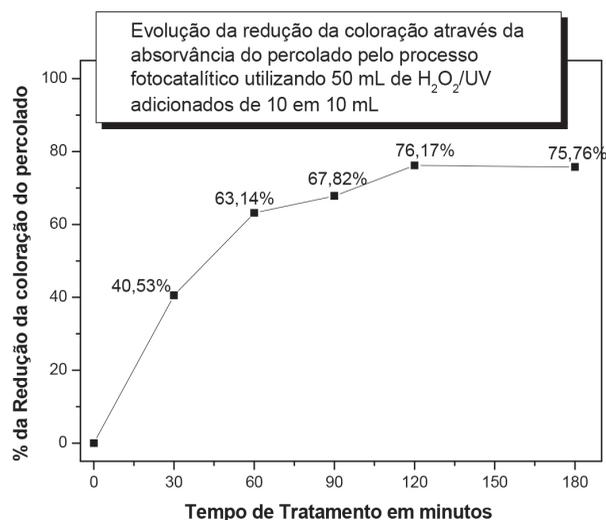
Para comprovação do volume ideal a ser utilizado no tratamento do percolado de aterro, foi realizado um outro experimento utilizando 30 mL H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 10% adicionados 10 mL nos tempo de 0, 30 e 60 minutos. Na Tabela 3 estão apresentados os resultados da degradação fotocatalítica do percolado pós filtração lenta. De acordo com a Tabela 3, pode-se observar uma redução da coloração do percolado de 66,17% em 180 minutos. Uma melhor visualização dos resultados pode ser observada na Figura 4.

Como a redução da coloração do percolado diminuiu quando acrescentados 30 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, se comparado ao teste com 40 mL (Tabela 2) optou-se por realizar um novo experimento adicionando 35 mL em alíquotas de 15 mL no início (tempo 0), e

alíquotas de 10 mL nos tempos de 30 e 60 minutos (Tabela 4). Acrescentou-se maior volume no início do tratamento porque foi observado que nos primeiros momentos do tratamento a reação de descoloração ocorre mais rapidamente.



**Figura 2.** Estudo da evolução do tratamento fotoquímico do percolado de aterro pós filtração lenta. Adição de 40 mL de solução de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a 10% em alíquotas de 10 mL. Vazão de ar 15 L.min<sup>-1</sup>; Temperatura 45°C; Lâmpada de 400 W.



**Figura 3.** Estudo da evolução do tratamento fotoquímico do percolado de aterro pós filtração lenta. Adição de 50 mL de solução de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a 10% em alíquotas de 10 mL. Vazão de ar 15 L.min<sup>-1</sup>; Temperatura 45°C; Lâmpada de 400 W.

**Tabela 3.** Estudo do processo fotoquímico do percolado de aterro pós filtração lenta. Adição de 30 mL de solução de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a 10% em alíquotas de 10 mL. Vazão de ar 15 L.min<sup>-1</sup>; Temperatura 45°C; Lâmpada de 400 W.

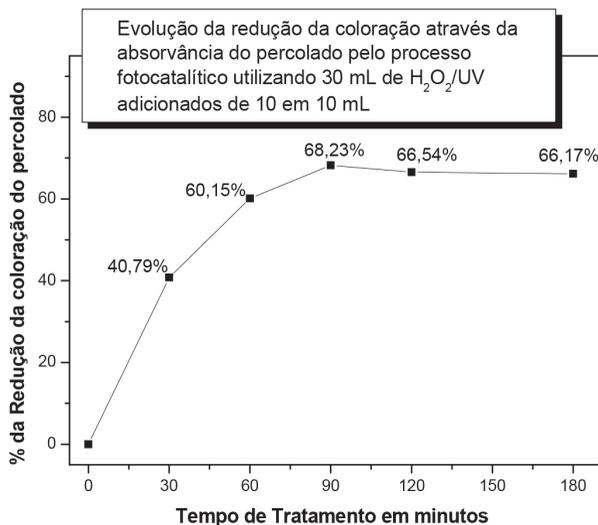
Testes	Tempo (min)	Volume de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mL)	Absorvância (400 nm) (fator de diluição 4)	Redução da Cor (%)
0	0	10	0,532	0
1	30	10	0,315	40,79
2	60	10	0,212	60,15
3	90		0,169	68,23
4	120		0,178	66,54
5	180		0,180	66,17

**Tabela 4.** Estudo do processo fotoquímico do percolado de aterro pós filtração lenta. Adição de 35 mL de solução de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 10% em uma alíquota de 15 mL e duas de 10 mL. Vazão de ar 15 L.min<sup>-1</sup>; Temperatura 45°C; Lâmpada de 400 W.

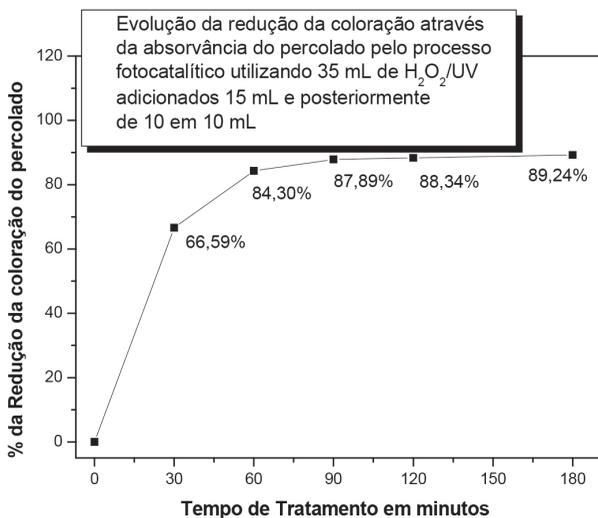
Testes	Tempo (min)	Volume de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mL)	Absorvância (400 nm) (fator de diluição 4)	Redução da Cor (%)
0	0	15	0,446	
1	30	10	0,149	66,59
2	60	10	0,070	84,30
<b>3</b>	<b>90</b>		<b>0,054</b>	<b>87,89</b>
4	120		0,052	88,34
5	180		0,048	89,24

O melhor resultado obtido anteriormente na redução da cor do percolado foi em torno de 76% em 180 minutos de tratamento utilizando 50 mL em alíquotas de 10 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (Tabela 2). Entretanto, com a metodologia empregada nos experimentos apresentados na Tabela 4, verificou-se um excelente resultado, com porcentagem de redução da coloração em torno de 88% em apenas 90 minutos de tratamento, ou seja, a metade do tempo de tratamento mostrado na Tabela 2, e utilizando um pouco menos de reagente (35 mL). De acordo com a Figura 5, pode-se observar que o tratamento fotoquímico apresentou resultados sequenciais proporcionando uma curva sem picos.

A partir dessa nova estratégia de iniciar o tratamento com um volume maior (apresentada na Tabela 4), realizou-se um outro experimento com volume de 45 mL de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 10% nas mesmas condições do teste anterior (Tabela 5).



**Figura 4.** Estudo da evolução do tratamento fotoquímico do percolado de aterro pós filtração lenta. Adição de 30 mL de solução de  $H_2O_2$  a 10% em alíquotas de 10 mL. Vazão de ar  $15 L \cdot min^{-1}$ ; Temperatura  $45^\circ C$ ; Lâmpada de 400 W.

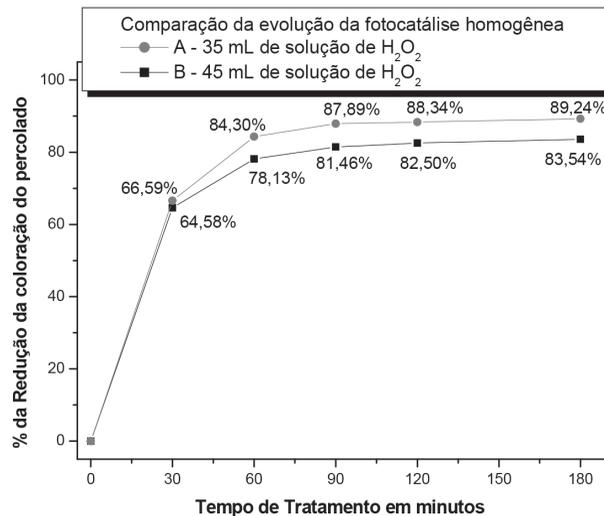


**Figura 5.** Estudo da evolução do tratamento do percolado de aterro pós filtração lenta. Adição de 35 mL de solução de  $H_2O_2$  a 10% sendo uma alíquota de 15 mL e duas de 10 mL a cada 30 min. Vazão de ar  $15 L \cdot min^{-1}$ ; Temperatura  $45^\circ C$ ; Lâmpada de 400 W.

Por meio dos resultados apresentados no experimento da Tabela 5, observou-se que a porcentagem de redução final (83,54%), é inferior quando comparado ao teste anterior (Tabela 4). Este comportamento pode estar indicando o caráter sequestrante (scavenger) provocado

pelo excesso de peróxido de hidrogênio, discutido anteriormente (Pacheco e PERALTA-ZAMORA, 2004).

Para efeito de comparação das eficiências dos tratamentos utilizando os volumes 35 mL (dados da Tabela 4) e 45 mL (dados da Tabela 5) foi construída uma nova figura indicando a tendência das duas curvas (Figura 6). Parece claro que o excesso de peróxido de hidrogênio reduz a eficiência do tratamento em estudo.



**Figura 6.** Comparação da evolução da descoloração do percolado de aterro pós filtração lenta por tratamento fotoquímico. Curva A: 35 mL de solução de  $H_2O_2$  a 10%, sendo 15 mL no início seguidos de alíquotas de 10 mL a cada 30 min. Curva B: 45 mL de solução de  $H_2O_2$  a 10%, sendo 15 mL no início seguidos de alíquotas 10 mL cada 30 min. Vazão ar  $15 L \cdot min^{-1}$ ; Temperatura  $45^\circ C$ ; Lâmpada 400 W.

Como foi comprovado nos estudos anteriores, no início do tratamento a reação de descoloração é mais rápida, foram iniciados outros estudos utilizando volumes superiores a 15 mL no início do tratamento. Optou-se por estudar primeiramente o comportamento do tratamento fotoquímico utilizando 40 mL de solução de  $H_2O_2$  a 10% sendo 20 mL no início e 10 mL em 30 e 60 minutos, nas mesmas condições otimizadas anteriormente (Tabela 6).

Este teste também apresentou excelente resultado em apenas 90 minutos de tratamento obteve-se 89,12% de redução da cor. Este resultado é bastante similar ao verificado no experimento mostrado na Tabela 4, quando foi utilizando um total de 35 mL de solução de  $H_2O_2$  10%. A Figura 7 mostra a tendência da curva quando são empregados 40 mL utilizando a metodologia da Tabela 6.

A partir do resultado obtido no experimento anterior realizou-se um novo teste empregando um total de 30 mL de solução de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a 10% sendo que 20 mL foi adicionado no início do tratamento (tempo 0 minuto) e 10 mL no tempo de 30 minutos sob vazão de ar de 15 L.min<sup>-1</sup>; temperatura de 45°C e lâmpada de 400 Watts (Tabela 7).

**Tabela 5.** Estudo do processo fotoquímico do percolado de aterro pós filtração lenta. Adição de 45 mL de solução de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 10% em uma alíquota de 15 mL e três de 10 mL. Vazão de ar 15 L.min<sup>-1</sup>; Temperatura 45°C; Lâmpada de 400 W.

Testes	Tempo (min)	Volume de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mL)	Absorvância (400 nm) (fator de diluição 4)	Redução da Cor (%)
0	0	15	0,480	
1	30	10	0,170	64,58
2	60	10	0,105	78,13
<b>3</b>	<b>90</b>	<b>10</b>	<b>0,089</b>	<b>81,46</b>
4	120		0,084	82,50
5	180		0,079	83,54

**Tabela 6.** Estudo do processo fotoquímico do percolado de aterro pós filtração lenta. Adição de 40 mL de solução de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 10% em uma alíquota de 20 mL e duas de 10 mL. Vazão de ar 15 L.min<sup>-1</sup>; Temperatura 45°C; Lâmpada de 400 W.

Testes	Tempo (min)	Volume de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mL)	Absorvância (400 nm) (fator de diluição 4)	Redução da Cor (%)
0	0	20	0,478	
1	30	10	0,130	72,80
2	60	10	0,073	84,73
<b>3</b>	<b>90</b>		<b>0,052</b>	<b>89,12</b>
4	120		0,050	89,54
5	180		0,052	89,12

Partindo do experimento utilizando 35 mL de solução de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 10% (Tabela 4), o qual apresentou excelente resultado, realizou-se um teste com 35 mL de solução de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a 10% sendo adicionado 20 mL no início do tratamento, 10 mL no tempo de 30 minutos e mais 5 mL no tempo de 60 minutos, sob vazão de ar de 15 L.min<sup>-1</sup>, temperatura de 45°C e lâmpada de 400 Watts (Tabela 8).

Com este experimento obteve-se uma porcentagem de redução da cor 81% em 90 minutos de tratamento utilizando um total de 30 mL de solução de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 10%. Este resultado é inferior aos melhores resultados conseguido (Tabelas 4

e 6). A Figura 8 mostra a tendência da curva quando são empregados 30 mL utilizando a metodologia da Tabela 7.

**Tabela 7.** Estudo do processo fotoquímico do percolado de aterro pós filtração lenta. Adição de 30 mL de solução de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 10% sendo uma alíquota de 20 mL e uma de 10 mL. Vazão de ar 15 L.min<sup>-1</sup>; Temperatura 45°C; Lâmpada 400 W.

Testes	Tempo (min)	Volume de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mL)	Absorvância (400 nm) (fator de diluição 4)	Redução da Cor (%)
0	0	20	0,516	
1	30	10	0,175	66,08
2	60		0,105	79,53
<b>3</b>	<b>90</b>		<b>0,098</b>	<b>81,00</b>
4	120		0,090	82,56
5	180		0,067	87,02

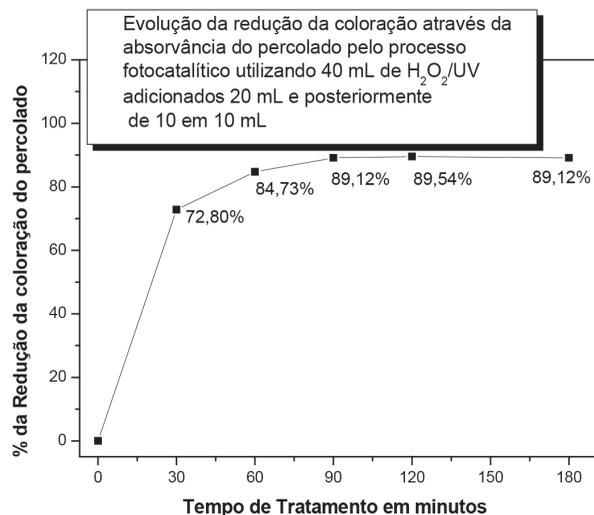
**Tabela 8.** Estudo do processo fotoquímico do percolado de aterro pós filtração lenta. Adição de 35 mL de solução de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 10%: 20 mL no início, 10 mL (30 min) e 5 mL (60 min). Vazão de ar 15 L.min<sup>-1</sup>; Temperatura 45°C; Lâmpada de 400 W.

Testes	Tempo (min)	Volume de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mL)	Absorvância (400 nm) (fator de diluição 4)	Redução da Cor (%)
0	0	20	0,490	0
1	30	10	0,176	64,08
2	60	5	0,098	80,00
<b>3</b>	<b>90</b>		<b>0,063</b>	<b>87,14</b>
4	120		0,063	87,14
5	180		0,053	89,18

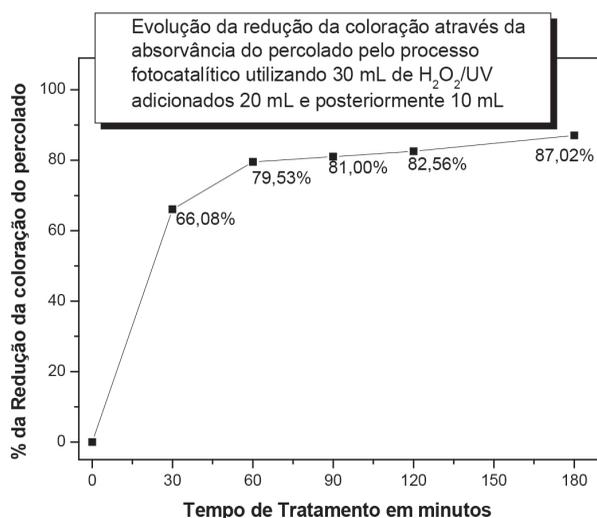
O experimento realizado conforme metodologia da Tabela 8, também apresentou ótima porcentagem de redução da cor do percolado (87,14% em 90 minutos), permanecendo similar aos melhores resultados conseguidos anteriormente. A Figura 9 mostra a tendência da curva a partir dos dados da Tabela 8. Apenas com o propósito de verificação realizou-se um teste utilizando 30 mL de solução de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a 10%, sendo, 20 mL no início, 5 mL no tempo de 30 minutos e 5mL no tempo de 60 minutos, sob vazão de ar de 15 L.min<sup>-1</sup>, temperatura de 45°C e lâmpada de 400 Watts. Os resultados da descoloração do percolado podem ser visualizados na Tabela 9.

De acordo com os dados da Tabela 9, pode-se observar que a eficiência do tratamento na redução da

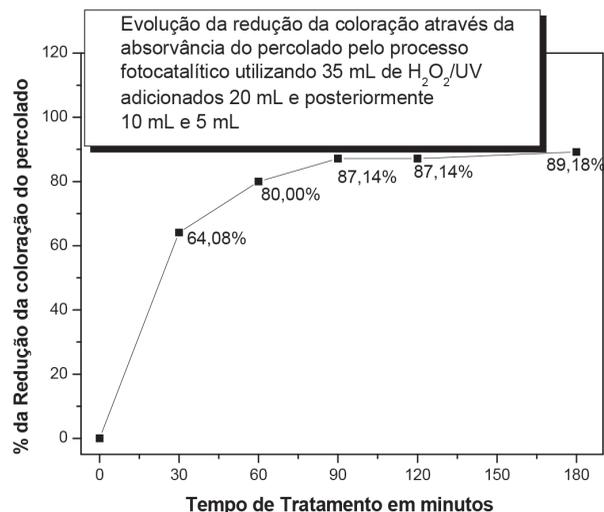
cor do percolado foi muito similar ao da metodologia empregada na Tabela 7 quando foi utilizado 30 mL de solução de  $H_2O_2$  10%, sendo 20 mL no início e 10 mL em 30 minutos. A Figura 10 mostra a tendência da curva.



**Figura 7.** Evolução do tratamento do percolado de aterro pós filtração lenta usando volume de 40 mL de solução de  $H_2O_2$  a 10% (20 mL no início e duas alíquotas de 10 mL a cada 30 min). Vazão de ar  $15 L \cdot min^{-1}$ ; Temperatura  $45^\circ C$ ; Lâmpada de 400 W.



**Figura 8.** Evolução do tratamento do percolado de aterro pós filtração lenta utilizando volume de 30 mL de solução de  $H_2O_2$  a 10% (20 mL no início e 10 mL em 30 min). Vazão de ar  $15 L \cdot min^{-1}$ ; Temperatura  $45^\circ C$ ; Lâmpada 400W.

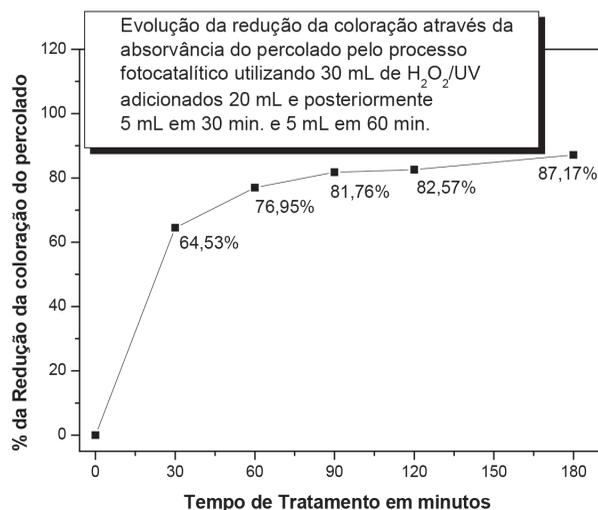


**Figura 9.** Evolução do tratamento fotoquímico do percolado de aterro pós filtração lenta utilizando volume de 35 mL de solução de  $H_2O_2$  a 10% (20 mL no início, 10 mL em 30 min. e 5 mL em 60 min.). Vazão de ar  $15 L \cdot min^{-1}$ ; Temperatura  $45^\circ C$ ; Lâmpada de 400 W.

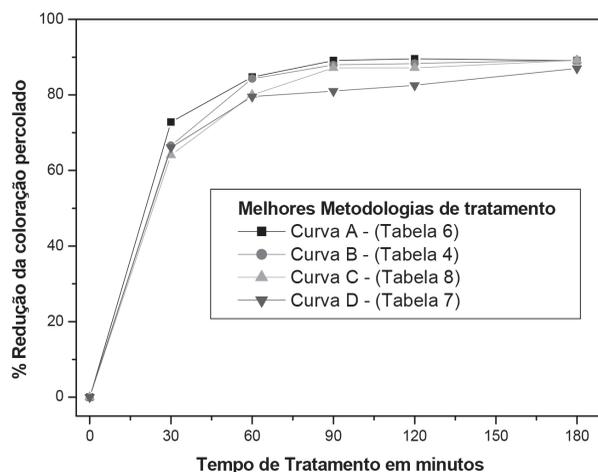
Diante dos experimentos realizados foram escolhidos quatro melhores resultados (Tabela 6, Tabela 4, Tabela 8 e Tabela 7). A fim de mostrar a similaridade dos resultados foi construída a Figura 11, com as respectivas curvas de degradação da cor do percolado.

De acordo com a Figura 11, pode-se concluir que os resultados mais relevantes são bastante similares no que se refere à redução da coloração do percolado de aterro. No entanto foi necessário verificar qual deles apresenta menor concentração de peróxido de hidrogênio residual para evitar contaminação deste reagente no descarte do percolado tratado. Pode-se observar na Tabela 10, como estão organizados os resultados da análise de peróxido de hidrogênio residual nos tempos de 90 min e 180 min de tratamento.

Os testes da Tabela 10, demonstraram que em 180 minutos de tratamento nenhuma das metodologias apresentou concentração de peróxido de hidrogênio residual, apenas a metodologia da curva A apresentou uma concentração um pouco maior de peróxido de hidrogênio residual de  $0,053 mg \cdot L^{-1}$  no tempo de 90 minutos. Para ajudar escolher qual das metodologias deveria dar continuidade aos estudos, foi montada uma tabela (referente às curvas de A a D) com os resultados de descoloração do percolado (Tabela 11).



**Figura 10.** Evolução do tratamento fotoquímico do percolado de aterro pós filtração lenta utilizando volume 30 mL de solução de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a 10% (20 mL no início e alíquotas de 5 mL nos tempos de 30 e 60 min). Vazão de ar 15 L.min<sup>-1</sup>; Temperatura 45°C; Lâmpada de 400 W.



**Figura 11.** Melhores metodologias de tratamento fotocatalítico do percolado. Curva A - (40 mL: 20 mL no início, 10 mL em 30 min e 10 mL em 60 min); Curva B - (35 mL: 15 mL no início, 10 mL em 30 min e 10 mL em 60 min); Curva C - (35 mL: 20 mL no início, 10 mL em 30 min e 5 mL em 60 min); Curva D - (30 mL: 20 mL no início, 10 mL em 30 min).

Observando as porcentagens de redução da cor (Tabela 11), nota-se que no tempo de 90 min de tratamento já ocorreu em média 87% de todo o processo de descoloração, para as curvas A, B e C não havendo razões para estender mais o tempo de tratamento.

Para escolher a melhor metodologia partiu-se do princípio da metodologia de tratamento fotoquímico mais

eficiente, ou seja, a que implementou maior descoloração. Seguindo este princípio a Curva “A” seria a escolhida por ser a que mais reduziu cor em 90 min de tratamento (89,12%). Entretanto, a porcentagem de redução foi muito próxima da conseguida pelas metodologias aplicadas nas Curvas “B” e “C”, além disso, na Curva “A” foi utilizado 40 mL de solução de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> a 10% (enquanto o teste B e C foi utilizado 35 mL), e foi a curva que apresentou maior concentração de peróxido de hidrogênio residual (0,053 mg.L<sup>-1</sup> em 90 minutos de tratamento).

**Tabela 9.** Estudo do processo fotoquímico do percolado de aterro pós filtração lenta. Adição de 30 mL de solução de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 10% (20 mL no início e duas alíquotas de 5 mL a cada 30 min). Vazão ar 15 L.min<sup>-1</sup>; Temperatura 45°C; Lâmpada de 400 W.

Testes	Tempo (min)	Volume de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mL)	Absorvância (400 nm) (fator de diluição 4)	Redução da Cor (%)
0	0	20	0,499	0
1	30	5	0,177	64,53
2	60	5	0,115	76,95
3	90		0,091	81,76
4	120		0,087	82,57
5	180		0,064	87,17

**Tabela 10.** Estudo da concentração de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> residual no percolado pós tratamento fotocatalítico: Curva A (40 mL: 20 mL no início, 10 mL em 30 min e 10 mL em 60 min); Curva B (35 mL: 15 mL no início, 10 mL em 30 min e 10 mL em 60 min); Curva C (35 mL: 20 mL no início, 10 mL em 30 min e 5 mL em 60 min); Curva D (30 mL: 20 mL no início, 10 mL em 30 min).

Tempo de Tratamento	Curva A H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> residual (mg.L <sup>-1</sup> )	Curva B H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> residual (mg.L <sup>-1</sup> )	Curva C H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> residual (mg.L <sup>-1</sup> )	Curva D H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> residual (mg.L <sup>-1</sup> )
90 min	0,053	0,008	0,012	0,000
180 min	0,000	0,000	0,000	0,000
	Tabela 6	Tabela 4	Tabela 8	Tabela 7

Diante disto, fez-se a opção por analisar as Curvas “B” e “C” para fazer a escolha de uma delas, já que a diferença da porcentagem de descoloração das duas é considerável se comparadas com a Curva “D” (em torno de 6 a 7% no tempo de 90 minutos de tratamento). Assim, fez-se opção de escolher a Curva “B” para dar continuidade aos estudos em função de uma pequena eficiência na descoloração (87,89% a 87,14%).

**Tabela 11.** Comparação da evolução da descoloração das quatro melhores metodologias de tratamento fotocatalítico do percolado de aterro pós filtração lenta.

Tempo (min)	Curva A (% redução Cor)	Curva B (% redução Cor)	Curva C (% redução Cor)	Curva D (% redução Cor)
0	0	0	0	0
30	72,80	66,59	64,08	66,08
60	84,73	84,30	80,00	79,53
90	89,12	(87,89)	(87,14)	81,00
120	89,54	88,34	87,14	82,56
180	89,12	89,24	89,18	87,02
Metodologia	40 mL: 20; 10; 10 (Tabela 6) [2,35 g.L <sup>-1</sup> H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ]	35 mL: 15; 10; 10 (Tabela 4) [2,05 g.L <sup>-1</sup> H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ]	35 mL: 20; 10; 5 (Tabela 8) [2,05 g.L <sup>-1</sup> H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ]	30 mL: 20; 10 (Tabela 7) [1,75 g.L <sup>-1</sup> H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ]

## Conclusão

O tratamento fotoquímico apresentou melhores resultados na redução da coloração do percolado (89%), através do volume de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> otimizado 35 mL adicionados ao reator em alíquotas de 15; 10; 10 mL e concentração de 205 mg.L<sup>-1</sup>. Importante ressaltar que o tratamento fotoquímico não deixou resíduos de peróxido de hidrogênio. Por meio deste estudo, pode-se afirmar que o processo em estudo apresenta grande potencial no que se refere à descoloração de espécies fotoquimicamente interferente ao meio como são os casos dos compostos presentes no percolado em estudo. Este é um fato de importância notável no caso da aplicação do sistema integrado de tratamento biológico-fotoquímico para tratamento de percolados apresentando um conjunto de promissoras características para fazer parte de uma rotina de tratamento.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelas bolsas concedidas e suporte técnico.

## Referências Bibliográficas

1. ABNT- Associação Brasileira De Normas Técnicas- NBR 10.004. Amostragem de Resíduos, **2004**: Dispõe sobre a classificação de resíduos sólidos.
2. Dominguez, J.R.; Beltran, J.; Rodriguez, O. Vis and UV photocatalytic detoxification methods (using TiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>/O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>/S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup>, O<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, S<sub>2</sub>O<sub>8</sub><sup>2-</sup>, Fe<sup>3+</sup>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and Fe<sup>3+</sup>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/C<sub>2</sub>O<sub>4</sub><sup>2-</sup>) for dyes treatment. *Catalysis Today*, v. 101, n. 3-4, p. 389-395, **2005**.

3. Pacheco, J.R.; Peralta-Zamora, P. Integração de processos físico-químicos e oxidativos avançados para remediação de percolado de aterro sanitário (chorume). *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.9, n. 4, p. 306-311, **2004**.
4. Schrank, S.G.; Jose, H.J.; Moreir a, R.F.P.M.; Schroder, H.F. Applicability of Fenton and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV reactions in the treatment of tannery wastewaters. *Chemosphere*, v. 60, n. 5, p. 644-655, 2005.
5. Shen, Y.; Ku, Y.; Lee, K. The effect of light absorbency on the decomposition of chlorophenols by ultraviolet-radiation and UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> processes. *Water Research*. v.29, n.3, p. 907-914, **1995**.
6. Xu, T.; Xiao, M.M.; Liu, H.Y. Advanced oxidation degradation of dichlorobenzene in water by the UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> process. *Journal Environment Science Health- A*, v. 40, n. 4, p. 751-765, **2005**.

Núbia N. Brito<sup>1,2\*</sup>, Giovani A. Brota<sup>2</sup>, Ronaldo T. Pelegrini<sup>3</sup> & José E. S. Paterniani<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Química, Universidade Federal de Goiás (UFG). Rodovia Campus Samambaia, CP 131 CEP 74001-970 - Goiânia - Goiás

<sup>2</sup>Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Cidade Universitária Zeferino Vaz, C. P. 6011 CEP:13083- 875 Campinas-SP

<sup>3</sup>Centro de Ciências Agrária (CCA), Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR). Rodovia Anhanguera Km17- SP 330, CEP: 13600-970 Araras-SP

\*e-mail: nubiabrito@quimica.ufg.br