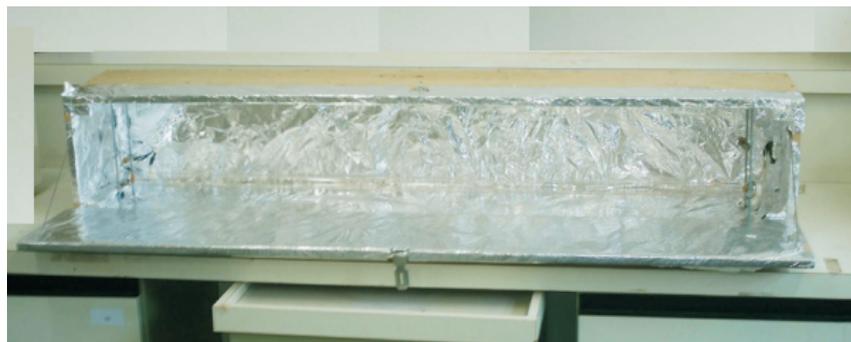
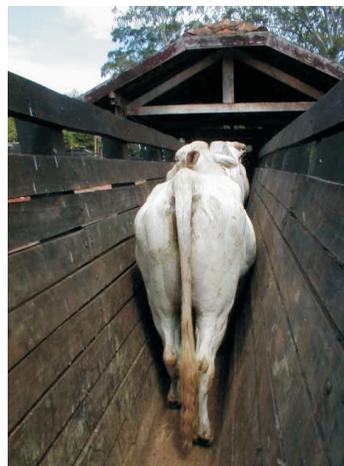
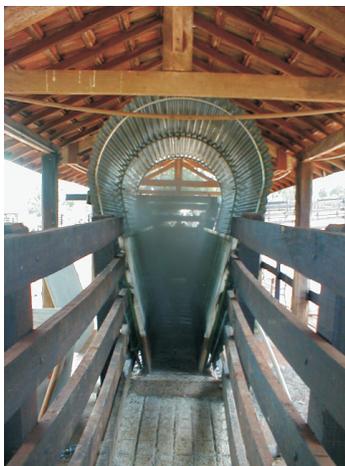


## Avaliação de processos oxidativos avançados para o tratamento de águas residuais de banhos carrapaticidas



ISSN 1981-2078  
Novembro, 2008

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Pecuária Sudeste  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

# ***Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 18***

## **Avaliação de processos oxidativos avançados para o tratamento de águas residuais de banhos carrapaticidas**

Caio F. Gromboni  
Ana Rita de Araujo Nogueira

Embrapa Pecuária Sudeste  
São Carlos, SP  
2008

## **Embrapa Pecuária Sudeste**

Rod. Washington Luiz, km 234

Caixa Postal 339

Fone: (16) 3411-5600

Fax: (16) 3361-5754

Home page: <http://www.cppse.embrapa.br>

E-mail: [sac@cppse.embrapa.br](mailto:sac@cppse.embrapa.br)

## **Comitê de Publicações da Unidade**

Presidente: Rui Machado

Secretário-Executivo: Edison Beno Pott

Membros: Maria Cristina Campanelli Brito, Milena Ambrósio Telles,  
Sônia Borges de Alencar, Waldomiro Barioni Junior

Supervisão editorial:

Revisão de texto: Edison Beno Pott

Normalização bibliográfica: Sônia Borges de Alencar

Editoração eletrônica: Maria Cristina Campanelli Brito

Foto(s) da capa: Caio F. Gromboni

**1ª edição on-line: 2008**

### **Todos os direitos reservados**

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

### **Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) Embrapa Pecuária Sudeste**

---

Gromboni, Caio F.

Avaliação de processos oxidativos avançados para o tratamento de águas residuais de banhos carrapaticidas [Recurso eletrônico] / Caio F. Gromboni, Ana Rita de Araujo Nogueira. — Dados eletrônicos. — São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2008.

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: <<http://www.cppse.embrapa.br/080servicos/070publicacao gratuita/boletim-de-pesquisa-desenvolvimento/Boletim18.pdf/view.>>

Título da página na Web (acesso em 17 de novembro de 2008)

20 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento/ Embrapa Pecuária Sudeste, 18; ISSN: 1980-6841)

1. Processos oxidativos 2. Água. 3. Carrapaticida I. Nogueira, Ana Rita de Araujo. II. Título. III. Série.

---

CDD: 543

© Embrapa 2008

# Sumário

Resumo .....	5
Abstract .....	6
Introdução .....	7
Material e Métodos .....	10
Resultados e Discussão .....	14
Conclusões .....	21
Referências .....	22

# Avaliação de processos oxidativos avançados para o tratamento de águas residuais de banhos carrapaticidas

---

*Caio F. Gromboni<sup>1</sup>*

*Ana Rita de Araujo Nogueira<sup>2</sup>*

## Resumo

Em razão da grande quantidade de resíduos que contêm soluções de carrapaticidas normalmente produzida em fazendas de criação de bovinos, neste trabalho foram avaliadas duas câmaras fotooxidativas com potencial para a degradação de resíduos de carrapaticidas. As soluções avaliadas continham clorfenvinfós e cipermetrina como princípios ativos. Para verificação da eficiência do sistema na decomposição dos resíduos, foram realizadas determinações dos teores de carbono antes e após a aplicação dos tratamentos, utilizando espectrometria de emissão óptica com plasma acoplado indutivamente. Em escala laboratorial, os resultados indicaram elevada eficiência na degradação de águas residuais, principalmente nos testes realizados com a reação de foto-Fenton. Com esta reação verificaram-se taxas de degradação superiores a 90 %. O sistema pode ser implementado em escala maior, para tratamento de águas residuárias diretamente no campo.

---

<sup>1</sup> Aluno de Doutorado do Departamento de Química da Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP.

<sup>2</sup> Pesquisadora da Embrapa Pecuária Sudeste e membro do Grupo de Análise Instrumental Aplicada, Rod. Washington Luiz, km 234, 13560-970, São Carlos, SP. Endereço eletrônico: <[anarita@cppse.embrapa.br](mailto:anarita@cppse.embrapa.br)>.

# Evaluation of advanced oxidative procedures for treatment of wastewater containing pesticides

---

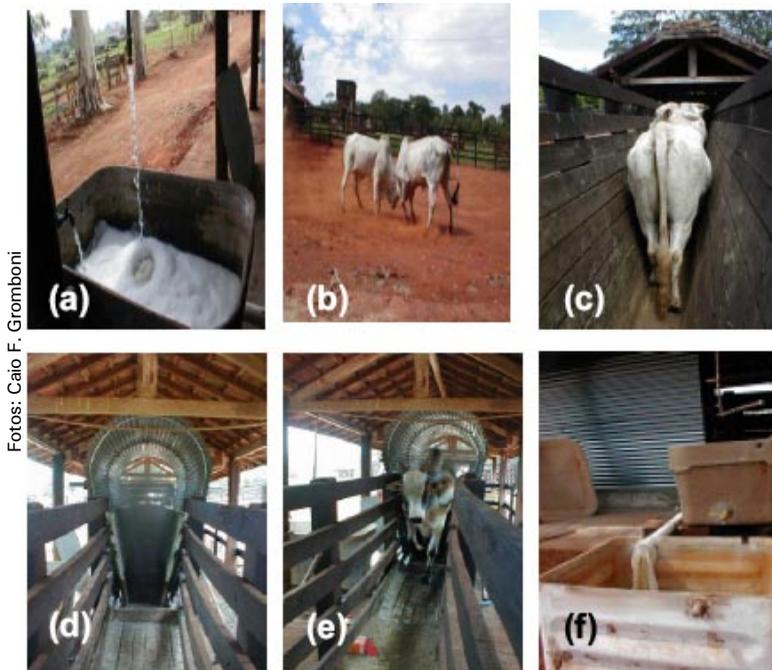
## Abstract

*Due to great amounts of residues containing solutions of pesticides normally produced in cattle farms, in this study two photo-oxidative chambers, which showed potential for the degradation of wastewater, were evaluated. The solution evaluated contained chlorfenvinphos e cipermetrine as active principles. In order to evaluate the system efficiency of residue decomposition, levels of carbon before and after treatments were determined by optical emission spectrometry with inductively coupled plasma. In laboratory scale, results indicated high efficiency of degradation of wastewater, mainly in tests performed with the photo-Fenton reaction. Tests with this reaction resulted in degradation rates greater than 90 %. The system can be implemented in larger scale for residual water treatment directly in farms.*

*Index terms: pesticides*

## Introdução

A intensificação de sistemas de produção com utilização de agrotóxicos e de fertilizantes em geral contribui para a obtenção de produtividade cada vez maior na agropecuária. Porém, para o aumento da eficiência são utilizadas grandes quantidades dessas substâncias, que muitas vezes geram resíduos químicos de tratamento e descarte difíceis. Um exemplo é a aplicação de produtos acaricidas na forma de banho, comumente empregados para o controle de carrapatos em bovinos. Em banhos por aspersão, muito comuns no Brasil, para cada bovino adulto são aplicados em média de quatro a cinco litros de solução preparada com o princípio ativo. O descarte da solução remanescente constitui um grave problema ambiental. Na Fig. 1 são apresentadas as diferentes etapas realizadas durante o banho por aspersão.



**Fig. 1.** Aplicação do banho carrapaticida: a) preparo da solução, b) manejo dos animais, c) entrada dos animais no sistema de aspersão, d) sistema de aspersão ligado, e) aplicação do banho e f) coleta do resíduo gerado.

## Processos oxidativos avançados

O estudo de novas alternativas para o tratamento de efluentes que contenham resíduos tóxicos é uma das principais armas de combate à contaminação ambiental antropogênica (NOGUEIRA e JARDIM, 1999). Nesse aspecto, a utilização de processos oxidativos avançados surge como alternativa para o tratamento desses resíduos, pois tais processos se apresentam mais sustentáveis no longo prazo para a descontaminação ambiental. Esses processos baseiam-se na formação de radicais hidroxila ( $\text{OH}\bullet$ ), que promovem a mineralização dos compostos orgânicos tóxicos, transformando-os em compostos inócuos, como dióxido de carbono e água.

Os processos oxidativos avançados dividem-se em sistemas homogêneos (catalisador e resíduo orgânico ou apenas o resíduo orgânico, em uma única fase) e heterogêneos (catalisador, geralmente em forma sólida, e resíduos orgânicos formam duas ou mais fases), em que os radicais  $\text{OH}\bullet$  podem ser gerados com ou sem irradiação ultravioleta (UV — Tabela 1). Muitos agentes oxidantes são aplicáveis nessas reações de oxidação realizadas na presença de radiações UV, porém alguns se destacam, como  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{Fe}^{2+}\text{-Fe}^{3+}$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$  e  $\text{HNO}_3$ .

**Tabela 1.** Sistemas típicos de processos oxidativos avançados.

Sistemas homogêneos		Sistemas heterogêneos	
Com irradiação	Sem irradiação	Com irradiação	Sem irradiação
$\text{O}_3$ , UV	$\text{O}_3$ , $\text{H}_2\text{O}_2$	$\text{TiO}_2$ , $\text{O}_2$ e UV	Eletro-Fenton
$\text{H}_2\text{O}_2$ , UV	$\text{O}_3$ , $\text{OH}^-$	$\text{TiO}_2$ , $\text{H}_2\text{O}_2$ e UV	
Feixe de elétrons	Fenton		
US			
Foto-Fenton			
$\text{H}_2\text{O}_2$ , US			
UV/US			

Fonte: Lu et al. (1994).

O êxito da utilização dos processos oxidativos avançados deve-se à sua alta eficiência e versatilidade, uma vez que grande variedade de classes de compostos pode ser totalmente mineralizada, o que diminui sua reatividade e os torna inócuos do ponto de vista ambiental. Esses processos apresentam alto

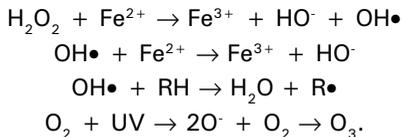
potencial de oxidação ( $E^{\circ} = +2,80 \text{ V}$  x eletrodo normal de hidrogênio) e são capazes de desencadear uma série de reações que levam muitas vezes à total degradação da matéria orgânica.

No Brasil existem vários centros de pesquisa e universidades que estudam processos oxidativos avançados. Nos congressos de engenharia sanitária e ambiental, e de engenharia química e química, é crescente a apresentação de trabalhos que envolvem esse tema. Nos anos de 2001, 2003, 2005 e 2007 foram realizados no Brasil o I ao IV “Encontro sobre Aplicações Ambientais de Processos Oxidativos Avançados”, com apresentação de conferências e trabalhos técnicos e científicos e a presença de pesquisadores provenientes de diferentes países, sendo crescente o número de participantes e de trabalhos apresentados.

A maioria dos estudos que envolvem processos oxidativos avançados dá-se em escala de laboratório e poucos deles são voltados para a análise dos custos envolvidos, visando à passagem para escala industrial. Além disso, outra dificuldade é comparar os diferentes trabalhos da literatura, mesmo que seus objetivos sejam semelhantes. Isto se deve ao grande número de fatores envolvidos, o que gera grande variabilidade de um trabalho para outro (POLEZI, 2003).

## Reação de Fenton

Proposta originalmente por Henry J. H. Fenton em 1894 (FENTON, 1894), quando realizava a oxidação do ácido tartárico, a reação do ferro com  $\text{H}_2\text{O}_2$  pode ser citada como exemplo de processo oxidativo. Durante a reação, o radical hidroxila é gerado e este oxida os compostos orgânicos em solução. O poder oxidante da reação de Fenton é fortemente aumentado quando a reação é utilizada em combinação com radiação UV ou com radiação UV visível, chamada de reação de foto-Fenton (PIGNATELLO, 1992; GROMBONI et al., 2007; BANDALA et al., 2008). Esse aumento da eficiência é atribuído principalmente à formação de muitos compostos intermediários: estados excitados da matéria orgânica dissolvida, peróxido de hidrogênio, oxigênio singlete, elétron hidratado, íons superóxidos, radicais organoperóxidos, radicais hidroxila e radicais halogênios. A formação desses radicais é o ponto-chave do procedimento de decomposição e da melhora da sua eficiência. As reações de Fenton e de foto-Fenton são esquematizadas a seguir (R – refere-se ao radical orgânico):



Neste trabalho, a fotodegradação de resíduos provenientes de banhos carrapaticidas foi avaliada, na tentativa de implementar uma metodologia alternativa para o seu tratamento, tendo em vista o descarte desses resíduos.

## Material e Métodos

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Tratamento de Resíduos Químicos da Embrapa Pecuária Sudeste, em São Carlos, SP.

Foram construídas duas câmaras fotooxidativas em madeira, com ajuste de altura para lâmpada ultravioleta e com o interior revestido por papel-alumínio, para maior aproveitamento da radiação UV. A câmara fotooxidativa (I) empregava lâmpada germicida de 45 cm com 15 W de potência (Fig. 2).

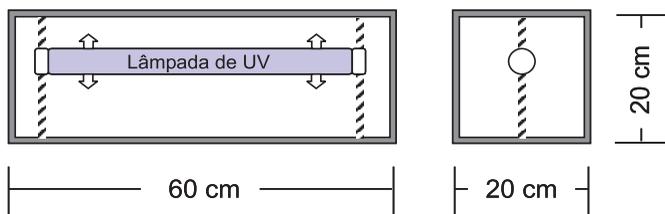


Foto: Caio F. Gromboni

Fig. 2. Câmara de radiação ultravioleta — UV (I).

A câmara fotoxidativa (II) empregava lâmpada germicida de 120 cm com 40 W de potência (Fig. 3). Para avaliação dessas câmaras, foi empregado um produto comercial, emulsionável, na concentração usual dos banhos carrapaticidas, isto é, 25 g de cipermetrina [alfa-ciano-3-fenoxibenzil-2-dimetil-3 (2,2-diclorovinil)-ciclopropano carboxilato] e 138 g de clorfenvinfós [2-cloro-1-(2,4-diclorofenil)-vinil-dietil-fosfato] para cada litro de solução.

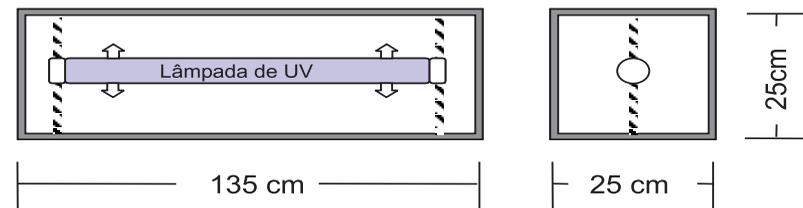


Foto: Caio F. Gromboni

Fig. 3. Câmara de irradiação ultravioleta — UV (II).

Com o objetivo de obter a otimização dos sistemas de fotoxidação, foi realizado um planejamento experimental envolvendo as principais variáveis que poderiam influenciar a eficiência da reação de decomposição dos compostos orgânicos. O planejamento foi realizado considerando o volume de água residual fixo de 3 mL e a avaliação das seguintes variáveis: volume de solução de  $\text{Fe}^{2+}$  ( $1000 \text{ mg.L}^{-1}$ ), volume de  $\text{H}_2\text{O}_2$ , ausência ou presença de  $10 \mu\text{L}$  de  $\text{HNO}_3$  concentrado (concentração final equivalente a  $0,046 \text{ mol.L}^{-1}$ ) e ausência ou presença de radiação UV. O tempo de decomposição foi avaliado apenas com a câmara fotoxidativa (I). Na otimização da câmara fotoxidativa (II) foi empregado o tempo mínimo de reação da câmara fotoxidativa (I), conforme apresentado na Tabela 2.

**Tabela 2.** Valores máximos e valores mínimos das variáveis empregadas no planejamento experimental para otimização das câmaras fotoxidativas avaliadas para tratamento de solução carrapaticida.

Variáveis	Câmara fotoxidativa (I)*		Câmara fotoxidativa (II)**	
	Valor mínimo	Valor máximo	Valor mínimo	Valor máximo
Fe <sup>2+</sup> (mL)	1	2	1	2
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mL)	1	2	1	2
HNO <sub>3</sub> (μL)	0	10	0	10
Tempo de reação (h)	6	10	6	6
Radiação UV	sem UV	com UV	sem UV	com UV

(1) Câmara fotoxidativa (I): lâmpada germicida de 45 cm e 15 W de potência.

(2) Câmara fotoxidativa (II): lâmpada germicida de 120 cm e 40 W de potência.

UV = ultravioleta.

Seguiram-se então os experimentos propostos no planejamento experimental. Diariamente era preparada a solução de carrapaticida, para simular um banho por aspersão, de acordo com as instruções fornecidas pelo fabricante e apresentadas no rótulo do frasco do produto. O concentrado comercial era diluído na proporção 1:400 em água desionizada. Todos os experimentos foram realizados em triplicata. Durante o experimento eram separadas três alíquotas de 3 mL de solução para a determinação do teor de carbono original. Após a fotoxidação, os resíduos eram transferidos para frascos de 25 mL, em que o volume era ajustado com água. Em seguida realizava-se a análise do teor de carbono residual por espectrometria de emissão óptica com plasma acoplado indutivamente (GOUVEIA et al., 2001). Os resultados foram comparados com os teores de carbono originalmente presentes no resíduo, para obtenção da eficiência de decomposição (expressa em percentagem).

Após a otimização do sistema, foram realizados experimentos sistemáticos para avaliar a eficiência da fotoxidação na ausência de Fe<sup>2+</sup>. Os experimentos foram realizados nos períodos de tempo determinados como ótimos no planejamento experimental, avaliando-se as seguintes alternativas: radiação UV, radiação UV + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e radiação UV + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> + HNO<sub>3</sub>.

A análise estatística foi realizada com o emprego do programa Pirouette® 4.0 Multivariate Data Analysis (Infometrix, EUA). Para evitar erros nas comparações entre os valores das variáveis, considerando as diferentes

propriedades existente entre elas, tais como pH, concentração ácida e presença ou ausência de radiação UV e de reagentes, os dados foram auto-escalados, criando-se uma faixa arbitrária de dados (pode-se também dizer que os dados foram padronizados). Os resultados foram analisados com base na escala de Pareto, que considera as diferentes interações entre as variáveis (INFOMETRIX, 2008).

## Resultados e Discussão

### Otimização da câmara fotooxidativa (I)

A concentração inicial de carbono do carrapaticida avaliado foi determinada em  $4,25 \text{ g.L}^{-1}$ .

Na Tabela 3 são apresentados os resultados obtidos com os experimentos propostos no planejamento experimental apresentado na Tabela 2. A melhor eficiência de decomposição foi obtida com o maior tempo de reação (10h) e com acidificação da solução. As reações de Fenton e de foto-Fenton, segundo Pignatello (1992) e Nogueira e Jardim (1999), apresentam o máximo de eficiência em pH 2 a 4, valor atingido pela adição de  $10 \mu\text{L}$  de  $\text{HNO}_3$  concentrado ao resíduo. Esse fato favorece a geração de radicais oxidantes e conseqüentemente aumenta a eficiência de decomposição. Esses resultados podem ser observados no gráfico de Pareto (Fig. 4). A adição de ácido, a radiação UV e o tempo de reação mostraram-se relevantes estatisticamente, assim como a interação do ácido e da radiação UV (CE) e a interação do ácido e do tempo (CD).

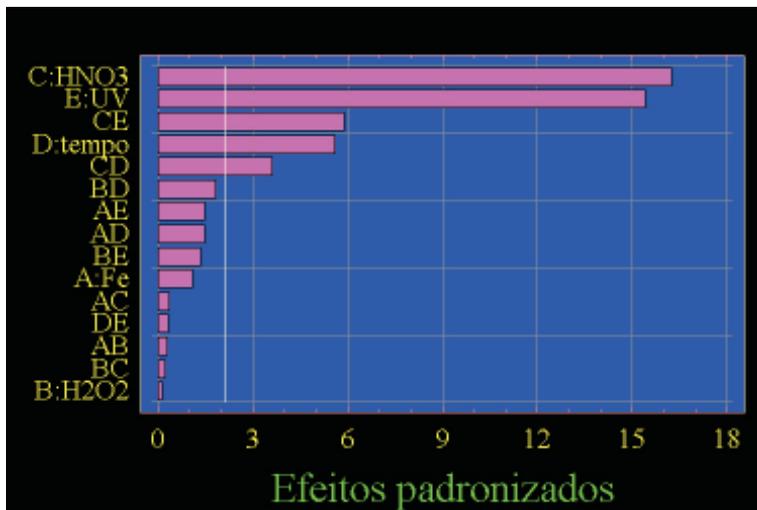
A radiação UV é energética e fornece energia suficiente para a remoção de elétrons da camada de valência. Conseqüentemente, ela quebra algumas ligações químicas, fato associado à melhor eficiência de decomposição do resíduo quando irradiado por mais tempo, o que indica a continua formação de radicais livres que permanecem degradando a matéria orgânica disponível. Essa observação pode ser visualizada na Fig. 5.

Em todos os casos ilustrados na Fig. 5 é possível perceber que a reação de foto-Fenton apresentou a maior eficiência de decomposição (cerca de 30 %) quando comparada ao respectivo tratamento sem a utilização da radiação UV, ou seja, o tratamento denominado de Fenton.

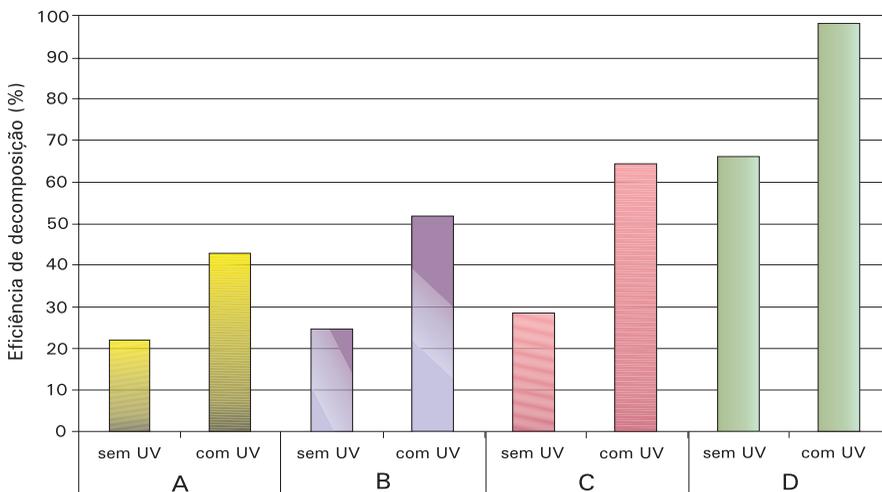
**Tabela 3.** Eficiência de decomposição obtida com a otimização da câmara fotooxidativa (I) utilizada na avaliação para tratamento de 3 mL de solução carrapaticida.

HNO <sub>3</sub> (μL)	Tempo (h)	Fe <sup>2+</sup> (mL)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mL)	UV	Eficiência (%)	
0	6	1	1	sem	21,9	
				com	43,2	
			2	sem	17,9	
				com	44,3	
			1	sem	22,6	
				com	35,6	
		2	2	2	sem	26,9
					com	34,5
			1	1	sem	24,5
					com	52,1
			1	2	sem	23,5
					com	46,8
	10	6	1	2	sem	24,2
					com	41,3
			2	2	sem	25,4
					com	40,5
			1	1	sem	28,6
					com	64,5
		2	1	2	sem	36,6
					com	87,5
			1	1	sem	38,9
					com	78,8
			2	2	sem	34,1
					com	79,1
10	6	2	sem	66,3		
			com	98,3		
	1	2	sem	47,0		
			com	98,1		
	1	1	sem	53,9		
			com	91,0		
10	10	2	sem	46,5		
			com	93,1		

UV = ultravioleta.



**Fig. 4.** Gráfico de Pareto para otimização da câmara fotooxidativa (I) utilizada na avaliação para tratamento de solução carrapaticida. No eixo das abcissas, as letras referem-se a: A – ferro; B – peróxido de hidrogênio; C – ácido nítrico; D – tempo de reação; E – radiação ultravioleta, respectivamente. No eixo das ordenadas, são apresentados os valores padronizados dos dados auto-escalados (ver Material e Métodos). Valores superiores a 2,8 são significativos ( $P < 0,05$ ).



**Fig. 5.** Eficiência de decomposição referente a 3 mL da solução carrapaticida + 1 mL de  $Fe^{2+}$  ( $1000 \text{ mg.L}^{-1}$ ) + 1 mL de  $H_2O_2$ : **A** = exposição durante 6h; **B** = exposição durante 10h; **C** = exposição durante 6h +  $10 \mu\text{L}$  de  $HNO_3$  concentrado; e **D** = exposição durante 10h +  $10 \mu\text{L}$  de  $HNO_3$  concentrado. UV = ultravioleta.

### Otimização da câmara fotooxidativa (II)

Inicialmente foram executados (em triplicata) os experimentos propostos no planeamento experimental nas condições apresentadas na Tabela 2. Os resultados obtidos podem ser observados na Tabela 4.

**Tabela 4.** Eficiência de decomposição obtida com a otimização da câmara fotooxidativa (II) utilizada na avaliação para tratamento de 3 mL de solução carrapaticida.

HNO <sub>3</sub> ( $\mu$ L)	Fe <sup>2+</sup> (mL)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mL)	UV	Eficiência (%)
			sem	21,7
		1	com	45,6
			sem	11,8
	1	2	com	45,1
			sem	18,7
		1	com	39,6
			sem	21,2
0	2	2	com	38,0
			sem	20,4
		1	com	99,4
			sem	23,0
	1	2	com	88,4
			sem	30,7
		1	com	95,0
			sem	39,1
10	2	2	com	85,8

UV = ultravioleta.

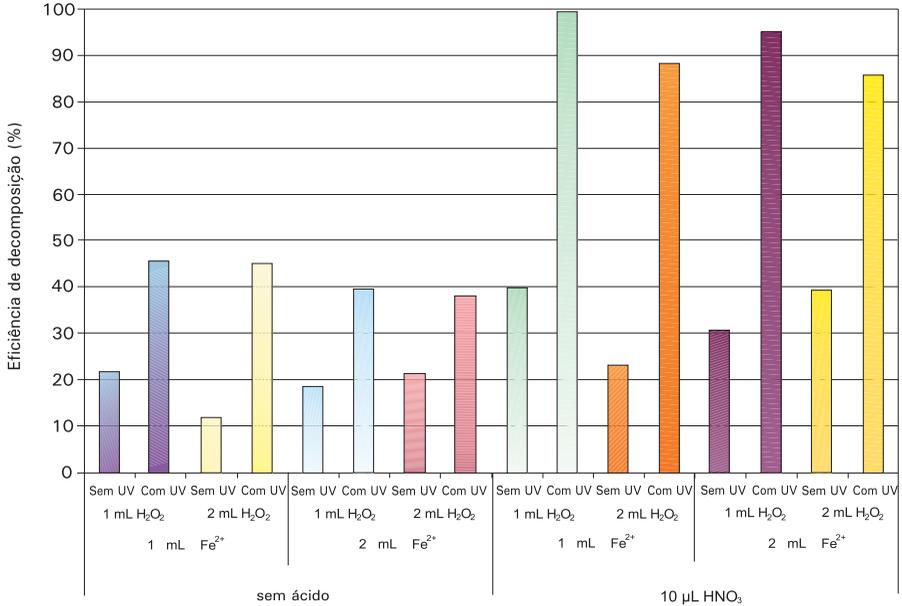
Com base na análise do gráfico de Pareto (Fig. 6), é possível observar que o efeito da radiação UV mostrou-se estatisticamente significativo ( $P < 0,05$ ). Isso evidencia a importância da radiação UV. A reação de foto-Fenton sempre foi mais eficiente quando comparada à reação de Fenton. Outra variável que apresentou efeito significativo ( $P < 0,05$ ) foi a acidificação da amostra. Como já discutido, a reação possui melhor eficiência em pH ácido, o que também foi comprovado aqui.



**Fig. 6.** Gráfico de Pareto para otimização da câmara fotooxidativa (II) utilizada na avaliação para o tratamento de solução carrapaticida. No eixo das abcissas, as letras referem-se a: A – ferro; B – peróxido de hidrogênio; C – ácido nítrico; D – radiação ultravioleta, respectivamente. No eixo das ordenadas, são apresentados os valores padronizados dos dados auto-escalados (ver Material e Métodos). Valores superiores a 2,8 são significativos ( $P < 0,05$ ).

Na Fig. 7 é ilustrada a comparação dos resultados obtidos nos experimentos realizados. À esquerda (oito primeiras barras), encontram-se os valores obtidos nos experimentos executados sem acidificação das amostras, nos quais houve baixa eficiência de decomposição. Já nos experimentos realizados com acidificação (oito barras à direita), houve maior eficiência de decomposição, quando a acidificação esteve associada à radiação UV (foto-Fenton + ácido). A interação dessas variáveis também apresentou significância estatística ( $P < 0,05$ ), conforme pode ser notado na Fig. 6 (barra CD).

Testes complementares foram realizados para observar a reação na ausência de íons de ferro, com o objetivo de verificar a eficiência da degradação quando a solução foi exposta durante 6h a tratamento com radiação UV, radiação UV +  $\text{HNO}_3$ , radiação UV +  $\text{H}_2\text{O}_2$  e radiação UV +  $\text{H}_2\text{O}_2$  +  $\text{HNO}_3$ . Testes realizados na ausência de Fe e de radiação UV também foram realizados, mas a eficiência de decomposição foi baixa (máximo de 5 %). Os resultados obtidos nos testes com radiação UV estão expressos na Tabela 5.



**Fig. 7.** Eficiência de decomposição de 3 mL da solução carrapaticida exposta a 6h de decomposição, na ausência ou na presença de radiação ultravioleta, sem e com acidificação.

**Tabela 5.** Eficiência de decomposição obtida em testes com ausência de ferro e tempo de exposição à radiação ultravioleta de 6h na câmara fotooxidativa (II) para tratamento de 3 mL da solução carrapaticida.

HNO <sub>3</sub> (µL)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mL)	Eficiência (%)
0	0	35,1
	1	45,9
	0	47,6
	1	52,4
10	2	56,2

O emprego da radiação UV foi responsável pela remoção de 35 % do teor original de carbono. Apesar de não ser um valor alto de remoção de carbono, é considerável, uma vez que não foi utilizado nenhum reagente. Deve ser lembrado que, além do efeito direto da radiação UV, os radicais livres gerados por ela degradam parte da matéria orgânica. A adição de peróxido de hidrogênio elevou a eficiência de degradação do carbono original em cerca de 10 %, pois o  $H_2O_2$ , além de ser um agente oxidante, também contribui para a geração de mais radicais livres na combinação de radiação UV +  $H_2O_2$ . Na comparação do teste que envolveu a ausência de ácido e de  $H_2O_2$  com o teste em que houve adição de 10  $\mu L$  de  $HNO_3$ , observa-se incremento de cerca de 10 % na eficiência de decomposição, relacionado à diminuição do pH do meio reacional. A adição de  $H_2O_2$  ao meio reacional acidificado elevou a eficiência da degradação para patamar superior a 50 %. Mesmo considerando esses fatores, fica patente a importância da adição de íons de Fe para a obtenção de degradação eficiente da solução carrapaticida estudada. Deve ser enfatizada a relativamente alta concentração de matéria orgânica da solução, o que torna essas avaliações pertinentes.

## Conclusões

Em alguns casos, quando maiores volumes de reagentes foram adicionados, ocorreu diminuição na eficiência da decomposição. Porém, em outros experimentos, maiores volumes de oxidante elevaram a eficiência da decomposição. Esses fatos podem estar relacionados a fatores sinérgicos ou a fatores antagônicos entre as reações que competem pelos radicais hidroxila.

O procedimento de fotodegradação com a câmara de radiação UV mostrou-se eficiente na decomposição dos resíduos estudados. Os conhecimentos e as condições estabelecidas em escala laboratorial podem ser utilizados para o tratamento de maiores volumes de resíduos de carrapaticidas diretamente no campo.

## Agradecimentos

À Embrapa, pelo auxílio à pesquisa, e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pela bolsa de mestrado concedida a Caio F. Gromboni.

## Referências

BANDALA, E. R.; PELAÉZ, M. A.; GARCÍA-LÓPEZ, J.; SALGADO, M. J.; MOELLER, G. Photocatalytic decolourisation of synthetic and real textile wastewater containing benzidine-based azo dyes. **Chemical Engineering and Processing**, v. 47, p. 169-176, 2008.

FENTON, H. J. H. Oxidation of tartaric acid in presence of iron. **Journal of the Chemical Society**, v. 65, p. 899-903, 1894.

GOUVEIA, S. T.; SILVA, F. V.; COSTA, L. M.; NOGUEIRA, A. R. A.; NÓBREGA, J. A. Determination of residual carbon by inductively-coupled plasma optical emission spectrometry with axial and radial view configurations. **Analytica Chimica Acta**, v. 445, p. 269-275, 2001.

GROMBONI, C. F.; FERREIRA, A. G.; KAMOGAWA, M. Y.; NOGUEIRA, A. R. A. Avaliação da reação foto-Fenton na decomposição de resíduos de carrapaticida. **Química Nova**, v. 30, p. 264-267, 2007.

INFOMETRIX. **Pirouette user´s guide**. Bothell, WA, 2008. p. 118-119.

LU, M. C.; ROAM, G. D.; CHEN, J. N.; HUANG, C. P. Photocatalytic oxidation of dichlorvos in the presence of hydrogen peroxide and ferrous ion. **Water Research**, v. 30, p. 29, 1994.

NOGUEIRA, R. F. P.; JARDIM, W. F. Photodegradation of water contaminants using potassium ferrioxalate. **Journal of Advanced and Oxidation Technology**, v. 4, p. 1-4, 1999.

PIGNATELLO, J. J. Dark and photoassisted Fe<sup>3+</sup>-catalyzed degradation of chlorophenoxy herbicides by hydrogen peroxide. **Environmental Science & Technology**, v. 26, p. 944-951, 1992.

POLEZI, M. **Aplicação de processo oxidativo avançado (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV) no efluente de uma ETE para fins de reuso**. 2003. 97 p. Dissertação (Mestrado em Química) – Unicamp, Programa de Pós-Graduação em Química, Campinas, SP.