

# Tratamento de chorume de aterro empregando a drenagem ácida de minas como fonte de ferro para a reação de Fenton

R.M.S. Fagundes<sup>1</sup>

J.C.S.S. Menezes<sup>1</sup>

I.A.H. Schneider<sup>1</sup>

---

**Resumo:** Este trabalho teve como objetivo verificar a eficiência do processo Fenton ( $H_2O_2/Fe$ ) no tratamento do lixiviado do aterro sanitário de Campo Bom – Vale do Sinos utilizando uma solução de drenagem ácida de minas (DAM) como fonte de ferro. Foram realizados ensaios considerando diferentes misturas de chorume e DAM, com e sem a adição de  $H_2O_2$ . O efeito de coagulação, em ambos os casos, melhorou as características do efluente em termos de carga orgânica e nutrientes. Porém, quando foi adicionado o  $H_2O_2$  (Reação de Fenton), o efluente final apresentou melhores resultados em relação a cor, COT (Carbono Orgânico Total) e, principalmente, em termos de bactérias do grupo coliforme. Os resultados demonstram que a drenagem ácida de minas, especialmente as mais concentradas e ricas em  $Fe^{+2}$ , podem ser empregadas a baixo custo como fonte de ferro para a Reação de Fenton

**Palavras-chave:** Drenagem ácida de minas, Lixiviado de aterros sanitários, Reação de Fenton, Tratamento de efluentes.

**Abstract:** The aim of this work was to study the treatment of landfill leached in the Vale dos Sinos - RS using the acid mine drainage (AMD) as a source of iron for Fenton's Oxidation Process ( $H_2O_2/Fe$ ). The experiments were carried out considering different levels of mixture of the wastewater and AMD, with and without the addition of  $H_2O_2$ . The coagulation effect, in both situations, improved the wastewater characteristics in terms of organic load and nutrients. However, when the  $H_2O_2$  was added (Fenton's Reaction), the final effluent showed better results in terms of color, COT and bacteria of the coliform group. The results demonstrates that the AMD, especially the most concentrated and rich in  $Fe^{+2}$ , can be used as low cost source of iron for the Fenton's Reaction.

**Key-words:** Acid mine drainage, Municipal landfill leachate, Fenton's Reaction, Wastewater treatment

---

---

<sup>1</sup> LEAmet - Laboratório de Estudos Ambientais para a Metalurgia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais - Centro de Tecnologia - Campus do Vale - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. E-mails: rosangela@fagundes.com, jean.menezes@ufrgs.br, ivo.andre@ufrgs.br

## Introdução

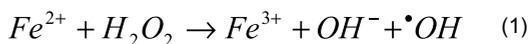
A disposição de resíduos sólidos urbano em aterros sanitários é uma prática bastante comum em países desenvolvidos e subdesenvolvidos. Devido à própria natureza dos resíduos, com grande quantidade de matéria orgânica e em função das infiltrações de água nestes aterros, uma variedade de poluentes orgânicos e inorgânicos é dissolvida e transportada, gerando o chamado percolado de aterro sanitário ou, simplesmente, chorume. As características do chorume gerado variam em função do regime pluvial, do clima da região, da idade do aterro, da composição do resíduo (maior ou menor quantidade de matéria orgânica), das condições hidrogeológicas e de operação do aterro.

O tratamento do chorume em plantas de tratamento clássicas é raramente praticado devido à natureza e concentração dos poluentes presentes (DQO elevada, baixa biodegradabilidade, metais pesados, patogênicos, etc. – Tzaoui et al., 2007). Os tratamentos empregados hoje utilizam combinações dos seguintes processos: coagulação/floculação, biológico – anaeróbicos e aeróbicos, oxidação, oxidação avançada, membranas, recirculação do chorume ao aterro, banhados construídos, entre outros. A escolha de um fluxograma de tratamento depende principalmente do custo de operação e investimento (custo efetivo) e da legislação ambiental local.

Tratamentos oxidativos e oxidativos avançados são atrativos para o tratamento de chorume devido ao potencial de oxidação da matéria orgânica e de diminuição da presença de patogênicos. Ainda, estes processos têm sido utilizados em conjunto com outros processos como pré e pós-tratamento de chorume (Zhang et al., 2006).

Entre os processos oxidativos avançados o processo Fenton se destaca devido ao baixo custo efetivo e facilidade operacional (Lee e Shoda, 2007). Durante a reação Fenton, peróxido de hidrogênio é catalisado em meio ácido (pH 3-5) por íon ferroso para produzir radical hidroxila (equação 1), que apresenta elevado potencial de oxidação –

2,8 V (Metcalf & Eddy, 2006).



A fonte mais utilizada para dosagem de  $Fe^{2+}$  é o sulfato ferroso -  $FeSO_4$  (Barros et al., 2005; Lee e Shoda, 2007). Entretanto, ao considerar a alta concentração de ferro (total e na forma de iônica  $Fe^{2+}$ ) em águas provenientes da drenagem ácida de minas (DAM), é de interesse científico e ambiental a avaliação do uso de DAM como fonte de  $Fe^{2+}$  no tratamento de efluentes via processo Fenton.

Assim, o objetivo do presente trabalho foi estudar o tratamento de um chorume de aterro sanitário via processos Fenton, utilizando a DAM como fonte de Fe total e  $Fe^{2+}$ . Avaliou-se a redução de carga orgânica ( $DBO_5$  e DQO) e desinfecção (coliformes totais e *Escherichia Coli*) do chorume e a possível concentração residual de metais pesados.

## Materiais e Métodos

A amostra de chorume foi coletada no Aterro Sanitário do Município de Campo Bom (Figura 1). Neste aterro, o chorume gerado no aterro é armazenado em lagoas, o que permite um processo de biodigestão. Quando a lagoa encontra-se no limite de sua capacidade, o chorume é tratado por coagulação e descartado. A amostra empregada no presente trabalho foi retirada da lagoa de armazenamento, preservada a 4°C e utilizada nos experimentos em um período inferior a 24 horas da coleta.

A DAM utilizada é proveniente de drenagem de área de mineração de carvão na região de Criciúma - SC e foi caracterizada quanto a pH e metais pesados. A determinação da fração de Fe total e na forma de  $Fe^{2+}$  foi realizada pelo método titulométrico de dicromato de potássio (Jeffery et al, 1989).

O reagente  $H_2O_2$  (32-36,5%) fornecido pela Nuclear® foi utilizado na reação de Fenton.  $H_2SO_4$  e NaOH a 5% foram utilizados no ajuste do pH.

Os ensaios de tratamento do chorume iniciaram com a caracterização da DAM utilizada como fonte de ferro. A dosagem de

**O objetivo do presente trabalho foi estudar o tratamento de um chorume de aterro sanitário via processos Fenton, utilizando a DAM como fonte de Fe total e  $Fe^{2+}$ .**

Fe total necessária para eficiente coagulação/precipitação e clarificação do chorume foi definida em 1000 mg.L<sup>-1</sup>. O tratamento foi realizado utilizando alíquotas de 1 L e foram divididos nas seguintes etapas:

Coagulação Simples: (a) adição de DAM na dosagem de 1000 mg.L<sup>-1</sup> e ajuste do pH



**Figura 1 – Aterro Sanitário do Município de Campo Bom.**

Fonte: Prefeitura de Campo Bom.

para 3,5; (b) agitação em jar-teste por 3 horas; (c) ajuste do pH à 8,7; (d) separação sólido/líquido por filtração (papel filtro de 8 µm).

Reação de Fenton: (a) adição de DAM na dosagem de 1000 mg.L<sup>-1</sup>, ajuste do pH para 3,5 e adição de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, com razão H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe<sup>2+</sup> previamente definida em 0,0825 g Fe<sup>2+</sup>/mL H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (Barros et al., 2005); (b) agitação em jar-teste por 3 horas; (c) ajuste do pH à 8,7; (d) separação sólido/líquido por filtração (papel filtro de 8 µm).

Análises físico-químicas foram realizadas no efluente bruto e tratado. As análises de turbidez, cor e pH foram realizadas, respectivamente, com as técnicas de nefelometria (NTU), colorimetria (Hz) e membrana de íon seletivo. A concentração residual de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> foi estimada com uso de teste de tiras – QUANTOFIX® Peroxide 100 (0 – 100 mg.L<sup>-1</sup>). A massa de lodo gerada em cada ensaio foi avaliada por diferença de massa do papel filtro (8 µm) antes e após filtragem. O filtro foi pesado à massa constante. A determinação do carbono orgânico total – COT foi realizada com a transformação do carbono da amostra, em chama ionizante, a CO<sub>2</sub> e a concentração obtida por leitura em espectrofotômetro UV. A amostra, volume de 500 µL, primeiramente

foi tratada com ácido fosfórico 1 M à pH 2 e gás oxigênio para eliminação do carbono inorgânico. As demais análises, DBO, DQO, N, P, Fe total, Al total, Mn total e Zn total foram realizadas seguindo metodologia indicada pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005).

## Resultados e discussão

### Caracterização do Chorume e da DAM

A Tabela 1 apresenta os resultados das análises químicas realizadas para caracterização do chorume e da DAM. A carga orgânica do chorume (DQO) é bastante elevada e a biodegradabilidade (DBO/DQO = 0,3) bastante baixa. Estas características apontam para provável baixa eficiência de tratamento por processos biológicos - lodo ativado, por exemplo (Russell, 1943). A DAM apresenta baixo pH e altíssima concentração de Fe total. A razão Fe<sup>2+</sup>/Fe total é próxima a 65 %, fazendo esta DAM um reagente bastante interessante como insumo do processo Fenton.

**Tabela 1 – Características do chorume e da DAM**

Parâmetros	Chorume	DAM
pH	7,37	1,07
S.Suspensos, mg.L <sup>-1</sup>	44	0,0
DBO, mg.L <sup>-1</sup>	979	-
DQO, mg.L <sup>-1</sup>	3264	-
COT, mg.L <sup>-1</sup>	1240	-
Col.Totais	110000	-
Sulfato total, mg.L <sup>-1</sup>	47,4	-
N, mg.L <sup>-1</sup>	284,2	-
P, mg.L <sup>-1</sup>	4,19	-
Zn, mg.L <sup>-1</sup>	0,18	-
Al, mg.L <sup>-1</sup>	0,59	-
Mn, mg.L <sup>-1</sup>	2,55	-
Fe total, mg.L <sup>-1</sup>	25,4	19.544.00
Fe <sup>2+</sup> , mg.L <sup>-1</sup>	-	30.172.00

### Tratamento do chorume

A Tabela 2 apresenta o resultado da caracterização das amostras coletadas após realização dos ensaios de tratamento do chorume com o processo Fenton e com

o processo de coagulação/precipitação. Os resultados apontam para uma eficiência de redução de DQO de aproximadamente 35% para o processo Fenton e de 45% para o processo de coagulação/precipitação, atingindo valores finais de DQO próximos a 2000 mg.L<sup>-1</sup>.

A razão DBO/DQO de ambas as amostras é de aproximadamente 0,3, igual a do chorume sem tratamento, o que mostra que não houve aumento da biodegradabilidade do chorume. Entretanto, os resultados de DQO e DBO<sub>5</sub> do ensaio Fenton podem estar alterados devido a concentração residual de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (Lee e Shoda, 2007), que é de 30 mg.L<sup>-1</sup>.

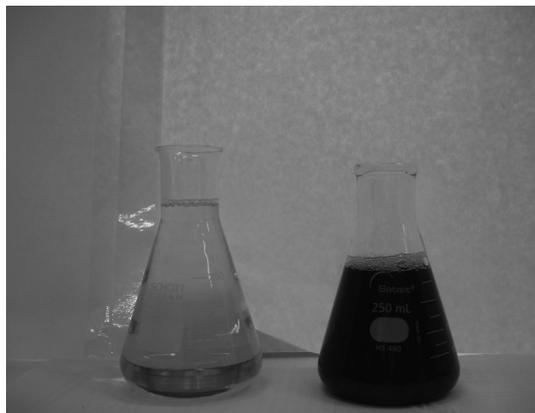
A menor concentração residual de COT e o menor valor de cor para a amostra Fenton mostram que este processo é efetivamente mais eficiente na destruição de carga orgânica dissolvida. Os resultados de Coliformes totais e *Escherichia Coli* confirmam a maior eficiência de desinfecção do processo Fenton.

Quanto à emissão do clarificado dos ensaios a corpos hídricos, os resultados mostram que a eficiência de tratamento não é suficiente. Os parâmetros acima das exigências federais e estaduais de emissão são DQO, DBO<sub>5</sub> e nitrogênio. Por outro lado, a concentração residual de metais pesados em ambos os ensaios é menor que a exigida par descarte. A massa de lodo seco gerada no ensaio Fenton foi um pouco maior que a gerada no ensaio de coagulação/precipitação.

Na Figura 2 é possível visualizar a alteração no aspecto visual do chorume tratado via Fenton. Este resultado foi possível principalmente pela redução significativa dos compostos orgânicos presente na amostra.

**Tabela 2 – Características do chorume tratado via Fenton e coagulação/precipitação e parâmetros de descarte de efluentes no Brasil e no Rio Grande do Sul. Condições dos ensaios: Fenton – 1000 mg.L<sup>-1</sup> Fe total, 663 mg.L<sup>-1</sup> Fe<sup>2+</sup>, 7,63 mL.L<sup>-1</sup> H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; Coagulação/precipitação - 1000 mg.L<sup>-1</sup> Fe total, 663 mg.L<sup>-1</sup> Fe<sup>2+</sup>**

Parâmetros	Reação de Fenton	Coagulação/precipitação	CONAMA 357/05 CONSEMA 128/06
pH	8,06	8,32	5-9
S.Suspensos, mg.L <sup>-1</sup>	25	25	-
DBO, mg.L <sup>-1</sup>	649	530	80
DQO, mg.L <sup>-1</sup>	2163	1770	300
COT, mg.L <sup>-1</sup>	800	1140	-
Turbidez, NTU	11	12	-
Cor, NTU	339	457	-
Col. Totais, NMP/100 mL	< 1,8	240	104
E. coli, NMP/100 mL	< 1,8	4	-
N, mg.L <sup>-1</sup>	214,5	209	20
P, mg.L <sup>-1</sup>	0,21	0,01	3
Zn, mg.L <sup>-1</sup>	< 0,05	< 0,05	5
Al, mg.L <sup>-1</sup>	0,79	0,49	-
Mn, mg.L <sup>-1</sup>	< 0,05	0,09	1
Fe <sup>2+</sup> , mg.L <sup>-1</sup>	3,02	1,5	15
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , mg.L <sup>-1</sup>	30	-	-
Massa de lodo seco g.L <sup>-1</sup>	3,4	3,0	-



**Figura 2 – Resultado do tratamento utilizando a Reação Fenton**

### Conclusões

Os resultados mostram que o tratamento de chorume utilizando a DAM como fonte de ferro apresenta eficiência na redução de carga orgânica e bactérias do grupo coliformes totais. Ao confrontar os processos Fenton e coagulação simples, pode-se observar superioridade do processo Fenton na redução de COT e cor e também na desinfecção do efluente. Quanto à emissão, o tratamento é insuficiente para enquadrar o efluente nas exigências de DQO, DBO e nitrogênio, exigindo etapas posteriores de tratamento. Por outro lado, a concentração de metais pesados no efluente após o tratamento através deste processo atende às exigências.

Com base no trabalho realizado, pode-se atestar a eficiência do Processo Oxidativo Avançado como tratamento do chorume, onde se pode constatar a remoção da maioria dos parâmetros exigidos pelo CONSEMA 128/2008, além dos aspectos de cor e turbidez da amostra. O processo mostrou-se eficiente também para redução de sólidos suspensos e microrganismos, o que comprova que houve efetiva ação do radical hidroxila, gerado pelo  $\text{Fe}^{+2}$  presente na DAM e o peróxido de hidrogênio.

### Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pelo

apoio financeiro à pesquisa (Edital Universal Processo 484881/2007-8), à Prefeitura Municipal e à Central de Tratamento de Resíduos Domésticos de Campo Bom (RS), pela amostra de Chorume, e à Carbonífera Criciúma S.A(SC) pela amostra de drenagem ácida de minas.

### Referências

APHA - AWWA-WEF. **Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater**. American Public Health Association, Washington D.C, 2005.

BARROS, A. L., PIZZOLATO, T.M., CARRISSIMI, E., SCHNEIDER, I.A.H. Decolorizing dye wastewater from the agate industry with Fenton oxidation process. **Minerals engineering**, 19, p. 87-90, 2006.

BIDONE, F.R.A.; POVINELLI, J. **Conceitos Básicos de Resíduos Sólidos**. São Carlos: EESC/USP,1999.

JEFFERY, G.H., BASSET, J., MENDHAM, J., DENNEY, R.C. (Eds). **Vogel's Textbook of Quantitative Chemical Analysis**. London: Longman Scientific & Technical, 1989.

KONARSEWSKI, V.H., SCHNEIDER, I.A.H. Atenuação de efluente de aterro sanitário utilizando-se a mistura do chorume com drenagem ácida de minas. In: **XXIII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa**, 2009. Gramado. Anais..., v.2, p.219-223, 2009.

KONTOPOULOS, A. Acid mine drainage control. In: **Effluent Treatment in the Mining Industry**. Castro, S.H.; Vergara, F.; Sánches, M.A.; (Eds.). University of Concepción, 1998.

KOPEZINSKI, I. **Mineração X Meio Ambiente: Considerações Legais, Principais Impactos Ambientais e seus Processos Modificadores**. Porto Alegre: Editora da Universidade, 2000.

LEE, H., SHOA, M. Removal of COD and color from livestock wastewater by the Fenton

**Ao confrontar os processos Fenton e coagulação simples, pode-se observar superioridade do processo Fenton na redução de COT e cor e também na desinfecção do efluente.**

method. **Journal of Hazardous materials**, 153, p. 1314-1319, 2007.

MENEZES, J.C.S.S.; SILVEIRA, P.S.; SCHEIDER, I, A.H. Potencial de Produção de Sulfato Férrico a partir de Rejeitos de Carvão dos Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná. In: **XXIII Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa**, 2009. Gramado. Anais..., v.2, p.391-396, 2009.

METCALF & EDDY. **Water Reuse: Issues, Technologies, and Applications**. Mc Graw-Hill, 2006.

MORAES, P. B.; BERTAZZOLI, R. **Degradação fotoelétrica de chorume de lixo gerado em aterros sanitários**. In: III Workshop Brasil-Japão, 2005, Campinas. III Workshop Brasil Japão: energia, meio ambiente desenvolvimento sustentável. Campinas: CORI – Unicamp, v.1, p.24-24, 2005.

OPPENLANDER, T. **Photochemical Purification of Water and Air**. Weinheim: Wiley – Vch Verlang, 2003.

PACHECO, J.R., PERALTA-ZAMORA, P.G., Integração de Processos Físico-Químicos e Oxidativos Avançados para Remediação de Aterro Sanitário (Chorume). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 9, n.4, p.306-311, 2004.

RIO GRANDE DO SUL. Conselho Estadual de Meio Ambiente. **Resolução nº 128/2006**. Porto Alegre, 24. Nov.2006.

RUSSEL, D.L. **Practical Wastewater Treatment**. Hoboken. New Jersey: Wiley-Interscience, 1943.

TIZAOUI, C., BOUSELMI, L., MANSOURI, L., GHRABI, A. Landfill leachate treatment with ozone and ozone/hydrogen peroxide systems. **Journal of Hazardous materials**, 140, p.316-324, 2006.

ZHANG, H., ZHANG, D., ZHOU, J. Removal of COD from landfill leachate by electro-Fenton method. **Journal of Hazardous materials**, 135, p. 106-111, 2005.