



## VI-252 - REMEDIAÇÃO DE SOLOS E LENÇÓIS FREÁTICOS EM POSTOS DE GASOLINA VIA PROCESSO DE FENTON.

**André de Souza Louro<sup>(1)</sup>**

Mestrando em Química Ambiental pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), MBA em Gestão e Controle Ambiental com ênfase no transporte marítimo de petróleo (UGF, 2006), Engenheiro Químico pela UERJ (2005), Técnico em Química pela Escola Técnica Federal de Química (CEFET-Química RJ, 1998). Atuação profissional no segmento de petróleo, derivados e produtos químicos desde 1997, em empresas como ChevronTexaco e NalcoExxon.

**Dra. Mônica Regina Marques**

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua do Oriente, 222, S-102, Santa Teresa, Rio de Janeiro, RJ – CEP 20240-130, Brasil.e-mail: [andré.louro@hotmail.com](mailto:andré.louro@hotmail.com)

### RESUMO

Atualmente há no Brasil mais de 34.300 postos de combustíveis, com volume de 65.000.000 m<sup>3</sup> de Gasolina e Diesel consumidos anualmente, conforme dados da ANP (Agência Nacional do Petróleo) em 2008. Sendo assim, a exposição e a probabilidade de contaminação destes solos e lençóis freáticos por BTEX (Benzeno, tolueno, xileno e etilbenzenos) e HPA's (hidrocarbonetos policíclicos aromáticos) é elevada. Estes constituintes e subprodutos do Diesel e da Gasolina são conhecidos como disruptores endócrinos e de alto potencial carcinogênico.

Este trabalho elucida a remediação *in-situ* de um posto de gasolina na região do ABC Paulista, no Estado de São Paulo, que detém mais de 60% dos postos de combustíveis no Brasil. Aplicando-se a técnica de Processo Oxidativo Avançado via reagente de Fenton ( $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{OH}^- + \text{OH}^\cdot$ ), onde o radical hidroxila ( $\text{OH}^\cdot$ ) gerado mineraliza compostos aromáticos, decompondo-os definitivamente. Usando a metodologia RBCA (Ações Corretivas com Base no Risco) definidos pela USEPA (Agência Ambiental Norte Americana) e aceitos pela CETESB, os níveis de poluentes recalcitrantes e o perfil hidrogeológico são identificados, e então se inicia a remediação com injeções no solo de peróxido de hidrogênio, sais de ferro II e nutrientes, à base de NPK (nitrogênio, fósforo e nitrogênio). Foram realizadas campanhas de injeção mensais com 100 litros do reagente cada, e medições trimestrais de BTEX, PAH e outros parâmetros de controle, que foram indicando o sucesso do tratamento. Após 18 meses o local foi considerado tratado pelo órgão ambiental paulista, onde monitoramentos semestrais estão em continuidade para garantir o resultado do tratamento e das ações corretivas.

Assim, o estudo real e *in-loco* da remediação de solos contaminados com derivados de petróleo, via processo de Fenton, a uma concentração de  $\text{H}_2\text{O}_2$  a 8% v/v, e solução de Fe(II) a 0,40 mg/L demonstrou-se uma técnica de grande sucesso. O entendimento dos resultados da remediação, sujeitos aos fenômenos naturais, como intempéries e chuvas, é uma experiência grande, pois as simulações em laboratório dificilmente conseguem inserir em suas metodologias, todas as variações que um tratamento real está exposto.

**PALAVRAS-CHAVE:** Remediação de solos, Postos de gasolina, Reagente de Fenton, Metodologia RBCA.

### INTRODUÇÃO

Alguns cientistas ambientais prevêem que a poluição dos solos será um dos maiores legados com grandes impactos para as gerações futuras, pois atualmente ainda existe desconhecimento das fontes poluidoras e do comportamento destes poluentes no solo. Desde a destinação indevida de pilhas, o asfalto em vias, até a poluição causada por vazamentos em tanques de postos de combustíveis, a gama de fontes geradoras é vasta (Colborn, 2002). O Brasil, devido a sua extensão territorial, suas bacias hidrográficas, elevado número de postos de abastecimentos de combustíveis e ineficazes órgãos de fiscalização ambiental, está muito exposto a esse tipo de poluição (Resolução CONAMA 273).

Devido ao número de postos de gasolina, atualmente em 34.300 postos e um volume de 65.000.000 m<sup>3</sup> de gasolina e diesel consumidos anualmente, conforme dados da Agência Nacional do Petróleo (ANP), em 2008 (fonte: [www.anp.gov.br](http://www.anp.gov.br)), percebe-se um grande risco de contaminação dos solos e lençóis freáticos no entorno destes estabelecimentos. Como consequência, a busca por processos pró-ativos é fundamental para



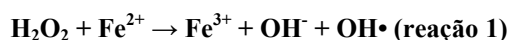
evitar que constituintes carcinogênicos e conhecidos disruptores endócrinos como os BTEX e PAH's, constituintes e subprodutos do diesel e da gasolina, causem males às pessoas e demais organismos. (Kielhorn, ONU 2003).

Existem diversos processos de remediação de solos, com tratamentos químicos, físicos e biológicos visando restabelecer as boas condições dos solos e da água dos lençóis freáticos. Um dos métodos bastante utilizados é via Processo de Oxidação Avançada (POA), onde a natureza biorrefratária e a persistência dos poluentes orgânicos são quebradas por agentes químicos oxidantes, destruindo estes poluentes definitivamente e não somente transferindo-os de fases ou sistemas. (Tarr, 2000).

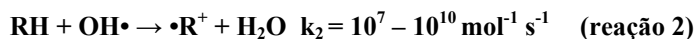
Apesar da atenuação natural e a biorremediação serem processos economicamente vantajosos, o tratamento de solos contaminados, utilizando processos oxidativos avançados, pode ser extremamente necessário, principalmente se o tempo para a remediação for escasso, os níveis de contaminação muito elevados e outras restrições logísticas estiverem presentes. (Watts, 2000).

Dos diversos processos de remediação conhecidos, o reagente de Fenton é extensamente usado para tratar águas efluentes de vários segmentos industriais (Kuo, 1992, Schulte et al, 1995). Também pode ser aplicado na remediação de matrizes sólidas, como solos, sedimentos e lamas (Muhranta and Viikari, 1993). O termo reagente de Fenton refere-se à mistura aquosa de íons  $Fe^{2+}$  e peróxido de hidrogênio  $H_2O_2$ . (Tarr, M, 2000).

A decomposição catalítica do peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) pelo íon ferroso ( $Fe^{2+}$ ), gera o radical hidroxila ou hidroxil ( $OH^\bullet$ ), esse processo é conhecido na literatura como oxidação pelo reagente de Fenton (reação 1). Com esse reagente, o processo mostra-se muito atrativo para o tratamento de solos, pois os custos são moderados, a operação é simples e seu alto potencial de oxidação deve-se à formação do radical hidroxila. (Flotron, 2004).



A reação de Fenton é conduzida preferencialmente em meio ácido (pH 2 - 3) para prevenir a precipitação de sais de ferro, o que diminui a eficácia da aplicação (Flotron 2004; Kuo, 1992). O radical hidroxila formado degrada compostos orgânicos tanto pela abstração do hidrogênio (reação 2), quanto pela adição do radical hidroxila (reação 3) (Flotron, 2004).



Estudos recentes por Ravikumar e Gurol, Miller e Valentine, Watts e outros mostraram que a ocorrência natural de minerais ferrosos também são capazes de promover reações de Fenton modificadas quando o peróxido de hidrogênio é adicionado ao solo contaminado. Aplicações in situ dos reagentes de Fenton e Fenton modificados têm sido implementadas no tratamento de solos e lençóis subterrâneos contaminados com gasolina.  $H_2O_2$  e solução de  $Fe^{2+}$  são injetadas em gradiente superior à pluma de contaminação e o tratamento é completado com sucesso em semanas (Watts, 1999).

Weber, Huang, Pignatello apud Bogan 2003 propuseram dois modelos reais para descrever os processos de interação entre os contaminantes hidrofóbicos e as partículas do solo. Nesses processos, o seqüestro do xenobiótico começa com a partição das moléculas indesejadas, tanto através de absorção ou adsorção nas camadas poliméricas de ácidos húmicos e fúlvicos na superfície das partículas de solo e também através da difusão nos microporos. Esse processo de difusão é provável que ocorra na camada de húmus das partículas e algumas vezes são parcialmente inacessíveis para o tratamento de remediação por Fenton, por exemplo. Nesse caso, grossas camadas poliméricas de ácidos fúlvico e húmico podem mascarar a presença dos recalcitrantes. (Bogan, 2003)

#### Objetivos do trabalho:

- Avaliar e compilar informações sobre as tecnologias e processos de oxidação avançada (POA) para remediação de solos usadas atualmente, assim como entender os impactos ambientais dos vazamentos de combustíveis em postos de gasolina, monitorando um caso real.



- Analisar com monitoramentos físico-químicos, a evolução de um tratamento real de solo e água contaminados com BTEX e PAH, usando uma solução de peróxido de hidrogênio a 8% v/v e solução de Fe (II) a 0,4 mg/l, representando o reagente de Fenton.
- Acompanhar um tratamento *in-situ*, e colher informações sobre todas as variações a que o processo está exposto, como intempéries e demais agentes que atuam na dinâmica dos solos. Verificar as consequências e eventuais efeitos indesejados o processo de oxidação avançada com reagente de Fenton pode causar aos sistemas.
- Avaliar a importância das atividades de controle dos órgãos ambientais mediante esse tipo de poluição de solos e lençóis freáticos, de forma a manter a potabilidade das águas, evitando o consumo humano e por outros animais.

### A metodologia RBCA – Ações Corretivas com Base no Risco

Nos Estados Unidos, devido ao fato das análises de hidrocarbonetos totais (TPH) não específicas serem insuficientes para a real medição do risco de um sítio, o uso de Ações Corretivas Baseadas no Risco (RBCA–*Risk Based Corrective Actions*) foram recentemente propostas como uma abordagem para determinar o ponto final da remediação de um sítio ou local contaminado (Watts, 2000).

No Brasil, essa abordagem já está em uso. RBCA's para diferentes frações de petróleo tem como base, a mobilidade específica e a toxicidade dos compostos individuais caracterizados na fração devidamente amostrada. Um exemplo dessa iniciativa é o procedimento de análise de risco que enfatiza a presença de compostos aromáticos mais tóxicos e móveis se comparados às espécies alifáticas. As frações de gasolina são quantificadas por cromatografia gasosa com detecção de ionização por chama (GC/FID) em série com detecção por fotoionização (GC/PID). As massas dessas frações são normalizadas de acordo com seu risco relativo, de forma a traçar as técnicas adequadas e o tempo de tratamento (Watts, 2000). Esse método define que os riscos dos compostos aromáticos são de 2 a 200 vezes maiores em magnitude se comparados aos compostos alifáticos com mesmo número de carbonos. A adoção da técnica de RBCA representa uma evolução no projeto de tecnologias usadas para o tratamento de áreas contaminadas com petróleo, seus derivados e outros produtos químicos.

Esta metodologia favorece processos dinâmicos com foco nas frações de óleo mais tóxicas e com maior mobilidade nos sistemas água-solo (Watts, 2000). Exemplificando, este método orienta e auxilia como deve ser o tratamento para diferentes contaminações, seja um acidente em um navio petroleiro em um determinado litoral, um acidente com um caminhão-tanque próximo a um manancial, ou neste caso o vazamento de derivados de petróleo em tanques subterrâneos. A metodologia pode ser aplicada também a mais de 600 compostos químicos diferentes.

No Brasil, o processo de Ações Corretivas com base no Risco (RBCA) já é usado por empresas de remediação ambiental e aceito por diversos órgãos ambientais, pois considera em suas premissas a legislação ambiental aplicável a cada estado ou país.

### Revisão da Legislação aplicável

Resolução CONAMA nº. 273, de 29 de novembro de 2000:

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) considera que toda a instalação e sistemas de armazenamento de derivados de petróleo e outros combustíveis, configuram-se como empreendimentos potencialmente ou parcialmente poluidores e geradores de acidentes ambientais; considerando: os vazamentos de derivados de petróleo e outros combustíveis podem causar contaminação de corpos de água subterrâneos e superficiais, do solo e do ar; riscos de incêndio e explosões, decorrentes desses vazamentos, pois partes desses estabelecimentos localizam-se em áreas densamente povoadas; a ocorrência de vazamentos vem aumentando significativamente nos últimos anos em função da manutenção inadequada ou insuficiente, da obsolescência do sistema e de equipamentos e da falta de treinamento de pessoal; a ausência e/ou uso inadequado de sistemas confiáveis para a detecção de vazamento e a insuficiência e ineficácia de capacidade de resposta frente a essas ocorrências e, em alguns casos, a dificuldade de implementar as ações necessárias, resolve:

Art. 1º A localização, construção, instalação, modificação, ampliação e operação de postos revendedores, postos de abastecimento, instalações de sistemas retalhistas e postos flutuantes de combustíveis dependerão de licenciamento prévio do órgão ambiental competente, sem prejuízo de outras licenças legalmente exigíveis, segundo normas técnicas expedidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e seguindo um cronograma de licenças ambientais:



I - Licença Prévia (LP): II - Licença de Instalação (LI): III - Licença de Operação (LO).”

Percebe-se na Resolução CONAMA 273 uma detalhada descrição preventiva das condições operacionais a que um posto de combustível deve obedecer e manter em funcionamento todas as medidas e controles para mitigar os impactos de suas operações.

Portaria Ministério da Saúde, 518 de 2004:

Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Dentre os padrões de potabilidade estabelecidos na Portaria MS 518, o limite máximo tolerável dos compostos de interesse é de:

- Benzeno = 5 µg/l
- Triclorobenzeno = 20 µg/l
- Hexaclorobenzeno = 1 µg/l
- Etilbenzeno = 0,2 mg/l
- Monoclorobenzeno = 0,12 mg/l
- Tolueno = 0,17 mg/l
- Xileno = 0,3 mg/l

CETESB N° 010/2006:

Os postos sujeitos à reforma completa são aqueles que, dentre outras exigências técnicas referentes às instalações e equipamentos, devem necessariamente substituir todos os seus tanques subterrâneos de armazenamento de combustíveis, por terem atingido a idade de **15 (quinze) anos** ou por terem apresentado vazamentos, de acordo com as informações constantes no cadastro enviado à CETESB. Os novos tanques devem atender à Norma ABNT NBR 13785 e as tubulações correspondentes devem atender à Norma ABNT NBR 14722. Devem ser solicitadas as Licenças Prévia de Instalação (antes de iniciada a reforma) e a Licença de Operação.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia para condução da remediação *in-situ* iniciou-se com uma sondagem das características físicas e químicas do solo, levantamento das concentrações de compostos orgânicos voláteis (VOC) em toda a região suspeita de contaminação, coletando amostras de solo provenientes das sondagens de reconhecimento. Realizou-se também o levantamento planialtimétrico, que é o estudo da altura relativa entre os poços de monitoramento, e a determinação do coeficiente de condutividade hidráulica, que consiste no ensaio de variação do nível de água dos poços em estudo.

Utilizando-se essas informações obtidas no levantamento de dados e fazendo uso do software e ferramenta RBCA para Compostos Químicos versão 1.3 (*RBCA Tool kit for Chemical Releases*, vrs 1.3), que executa o modelamento matemático analítico do transporte e atenuação da contaminação, elaboram-se assim, as estimativas numéricas das concentrações aceitáveis específicas para a área (*SSTL – specific site target levels*). O software determina estas metas e sugere técnicas e prazos para o tratamento.

Aplicações mensais de 100 litros de uma solução de peróxido de hidrogênio a 8% v/v, uso industrial, e solução de Fe (II) a 0,4 mg/l eram realizadas em cada um dos quatro poços de injeção no solo contaminado, previamente determinados e durante um período de 18 meses.

Realizou-se também o monitoramento de parâmetros como nível de água, verificação de fase livre/residual, além da leitura dos parâmetros físico-químicos de controle, como o potencial hidrogeniônico, o pH, condutividade elétrica, temperatura, oxigênio dissolvido, compostos orgânicos voláteis, dióxido de carbono, e gás sulfídrico. Devido a características exotérmicas da reação e do processo oxidativo avançado, o acompanhamento da temperatura é importante para garantir a segurança do tratamento, dos operadores e da vizinhança.



Análises quantitativas e trimestrais dos teores de BTEX e PAH, por Cromatografia Gasosa acoplada com metodologias US EPA, foram realizadas nas amostras de água subterrânea devidamente condicionadas a no máximo 4°C, e transportadas ao laboratório.

A quantificação de BTEX e HPA's foram realizadas no Laboratório Analytical Solutions em São Paulo. A quantificação dos compostos HTP's (Hidrocarbonetos totais de petróleo), BTEX e HPA's extraíveis do solo foram realizadas utilizando respectivamente as metodologias US EPA 5021A e US EPA 8015B e US EPA 8021B.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os frascos foram identificados com a localização do ponto de amostragem, a profundidade e a concentração de gases medidas no campo, após este procedimento a amostra foi enviada ao laboratório para realização das análises químicas. A cada nova amostragem procede-se a descontaminação dos equipamentos. Este processo se inicia com a remoção do solo aderido ao trado e a haste por meio de uma espátula, os equipamentos são lavados utilizando-se água potável e detergente neutro, isento de fósforo, sendo enxaguados com água potável, exceto o trado que foi enxaguado com água desmineralizada. Após esta etapa os equipamentos são dispostos em local limpo para secagem ao ar livre e cobertos com sacos plásticos até o próximo uso.

Realizou-se uma sondagem inicial visando à coleta de solo para ensaios geotécnicos, cujos resultados encontram-se na tabela 1. As amostras foram coletadas fora da pluma de contaminação, levando-se em consideração as litologias predominantes da área de estudo. As amostras para análise de granulometria e matéria orgânica foram encaminhadas ao laboratório da ESALQ-SP (Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo) e as amostras destinadas a análises de porosidade, densidade e umidade natural foram encaminhadas ao laboratório do IPT (Instituto de Pesquisas Técnicas).

Tabela 1 - Resultados de amostras geotécnicas							
Amostr	Granulometria (%)			Densidad (g/c <sup>3</sup> )	Umidad natural (%)	Porosidade total	Carbon Orgânico
	Argil	Silt	Arei	aparent			
AG-01	67	10	23	1,17	38,31	52,6	0,49
AG-01	67	10	23	1,18	38,99	51,5	0,46
AG-02	43	12	34	1,27	45,03	53,3	-
AG-02	45	10	34	1,22	44,39	55,8	-

As amostras de solos selecionadas para análises químicas foram aquelas que apresentaram maiores concentrações de VOC, obtidas durante as sondagens de reconhecimento. A tabela 2 apresenta a profundidade das amostras de solo coletadas para análise química e suas concentrações de VOC.

TABELA 2: Características das amostras de solo (ppm)		
Amostra	Profundidade (m)	VOC (ppm)
ST-01	5,0	51-100
ST-02	4,0	51-100
ST-03	2,0	> 600

Diante das avaliações iniciais de solo, percebe-se que o ponto ST-03 se destaca sendo o maior foco de contaminação, estando próximo ao tanque 03 de gasolina. Logo a 2 metros de profundidade apresentou o maior teor de orgânicos voláteis, e também durante a sondagem detectou-se a presença de fase livre de gasolina sobrenadante ao aquífero local. Este indício favorece o foco dos estudos para aquele ponto.

As avaliações trimestrais da evolução do tratamento durante a aplicação do reagente de Fenton (fevereiro, maio, agosto e novembro), com medições de BTEX/PAH (Tabela 2) indicaram que após nove meses de tratamento os teores destes compostos aromáticos foram mínimos. Estes resultados referem-se ao principal poço com maiores índices de contaminação.



Um fato atípico pode ser observado nas leituras de maio e agosto, onde os valores esperados deveriam ser menores que os iniciais. Entretanto, percebe-se em leituras de maio e agosto, logo após as primeiras campanhas de injeção, observou-se um aumento dos teores devido ao fenômeno de “rebote”, onde as injeções do reagente de Fenton consumiram os aromáticos em solução e eventuais remanescentes adsorvidos e/ou absorvidos nos poros foram liberados para a água, indicando aumento inesperado dos valores dos compostos orgânicos de interesse.

**TABELA 3: Resultados das amostras de água subterrâneas do poço ST-03, monitoradas trimestralmente.**

Parâmetros Analisados		Limite de detecção (LD)	Resultados (mg/l)			
			FEVEREIRO 2007	MAIO 2007	AGOSTO 2007	NOVEMBRO 2007
PAH	Naftaleno	0,008	26,619	27,787	28,038	ND (Não detectável)
	Acenafteno	0,008	0,063	0,118	0,071	ND
	Fluoreno	0,008	0,053	0,033	0,091	ND
	Antraceno	0,008	0,038	0,048	ND	ND
	Pireno	0,008	ND	ND	0,032	ND
	Acenaftileno	0,008	0,025	0,035	0,033	ND
	<b>Total</b>	-	<b>26,798</b>	<b>28,043</b>	<b>28,265</b>	<b>ND</b>
BTEX	Benzeno	0,1	94,4	302,9	328,2	ND
	Tolueno	0,1	166,9	441,3	17,4	ND
	Etilbenzeno	0,1	86,6	212	28,9	ND
	m,p xilenos	0,1	272,1	896,2	237,9	ND
	o-xilenos	0,1	110,4	349,5	109,2	ND
	<b>Total</b>		<b>563,5</b>	<b>2.201,9</b>	<b>721,6</b>	<b>ND</b>

Destaque para a dinâmica dos resultados de BTEX, onde se percebeu um grande e inesperado aumento das concentrações dos poluentes à medida que o tratamento avançava. É conhecido que os BTEX possuem alta capilaridade nos solos e maior coeficiente de partição Kow, se comparados aos PAH's tendendo a maior solubilidade em água, atenuando sua absorção e/ou adsorção nos solos. Percebeu-se ocorrência do fenômeno denominado de “rebote”, com destaque para os valores de benzeno e dos m,p-xilenos. À medida que as frações presentes no meio aquoso foram sendo mineralizadas, maiores quantidades de BTEX foram sendo extraídas, com a migração do solo para a fase líquida, explicando o aumento das concentrações em fase aquosa durante o tratamento. A continuidade das injeções do reagente de Fenton colocou os teores de BTEX em valores aceitáveis. Remediando tanto o solo, quanto a água do local.

Outros parâmetros de tratamento, controle e segurança da operação foram acompanhados, de forma a mitigar impactos indesejados e acidentes. Dentre os parâmetros, avaliaram-se: nível de água dos poços, oxigênio dissolvido, potencial redox, pH, condutividade elétrica, temperatura, compostos orgânicos voláteis (VOC), CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>S.

De toda a área monitorada foram realizados 12 perfurações, mantendo-se 12 poços de monitoramento

Um leve elevação da acidez do solo foi observada (de pH = 6 para 4), assim como um aumento na condutividade elétrica e do O<sub>2</sub> dissolvido, como efeitos do tratamento. Os demais parâmetros não tiveram variação considerável. O pH e a condutividade elétrica estabilizam-se naturalmente após três meses e o aumento do oxigênio dissolvido favorece a biorremediação e atenuação natural.



## CONCLUSÃO

O estudo real da remediação *in-situ* de solos contaminados com poluentes orgânicos, via processo de Fenton, usando-se uma concentração de  $H_2O_2$  a 8%v/v, e solução de Fe (II) a 0,40 mg/L demonstrou-se uma técnica de sucesso. O entendimento dos resultados da remediação, mesmo sujeitos aos fenômenos naturais, como intempéries e chuvas, é uma experiência grande, pois por mais bem projetadas que sejam, as simulações de contaminação e tratamento em laboratório dificilmente conseguem incluir em seus sistemas, as nuances que um tratamento real está exposto.

A remediação utilizando reagente de Fenton demonstrou-se poderosa ferramenta para tratamento rápido de solos e lençóis freáticos e estancar contaminações com BTEX e plumas subterrâneas.

A remediação de solos via reagente de Fenton destaca-se como importante processo de tratamento de solos contaminados, não somente de postos de gasolina, como em efluentes industriais, mineralizando outros poluentes recalcitrantes orgânicos, outra grande vantagem é sua propriedade de atuar em conjunto com outras métodos de tratamento de solos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BOGAN, B.W., Trbovic, Vesna. 2003. Effect of sequestration on PAH degradability with Fenton's reagent: roles of total organic carbon, humin and soil porosity. *Journal of hazardous material* 285, 300.
2. COLBORN, Theo et al. O futuro roubado. Porto Alegre: L&PM, 2002, 354p.
3. KIELHORN, Environmental Health Criteria 229. Selected Nitro and Nitro-oxy-polycyclic Aromatic hydrocarbons. IPCS – International Programme on Chemical Safety, World Health Organization United Nations Environment Programme, Geneve, 2003.
4. Field Applications of in Situ remediation technologies. Chemical Oxidation. EPA (Environmental Protection Agency). Solid waste and emergency response, 1998.
5. FLOTRON, V., Delteil, C., Padellec, Y., Camel, V. 2004. Removal of sorbed polycyclic aromatic hydrocarbons from soil, sludge and sediment samples using the Fenton's reagent process. *Chemosphere*, 2005. 1427 – 1437.
6. Resolução CONAMA 273, 2000.
7. TARR, Mathew A. Fenton and Modified fenton methods for pollutant degradation. Marcel Dekker books, University of New Orleans, 2000.
8. WATTS, R.J., Haller, D.R., Jones, P.J.2000. A foundation for the risk-based treatment of gasoline-contaminated soils using modified Fenton's reactions. Elsevier, *Journal of Hazardous Materials*.
9. WATTS, R.J, Stanton, P.C. 1998. Mineralization of sorbed and NAPL-phase hexadecane by catalyzed hydrogen peroxide. Pergamon, 1999, 1404 – 1414.