



República Federativa do Brasil  
Ministério do Desenvolvimento, Indústria  
e do Comércio Exterior  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

(21) **PI0617476-0 A2**

(22) Data de Depósito: 20/10/2006  
(43) Data da Publicação: 26/07/2011  
(RPI 2116)



(51) *Int.Cl.:*  
B09C 1/08 2006.01

(54) Título: **MÉTODO DE OXIDAÇÃO DE UM CONTAMINANTE PRESENTE EM UM MEIO AMBIENTE, E, COMPOSIÇÃO**

(30) Prioridade Unionista: 20/10/2005 US 60/728626

(73) Titular(es): FMC Corporation

(72) Inventor(es): Philip A. Block, Richard A. Brown

(74) Procurador(es): MOMSEN, LEONARDOS & CIA

(86) Pedido Internacional: PCT US2006041076 de 20/10/2006

(87) Publicação Internacional: WO 2007/047946 de 26/04/2007

(57) Resumo: MÉTODO DE OXIDAÇÃO DE UM CONTAMINANTE PRESENTE EM UM MEIO AMBIENTE, E, COMPOSIÇÃO Um método melhorado e composições melhoradas para tratar compostos orgânicos presentes em óleo, água subterrânea e outros ambientes são descritos. O método envolve o uso de uma composição compreendendo um composto peroxigenado solúvel em água, no estado sólido e ferro de valência zero.

## “MÉTODO DE OXIDAÇÃO DE UM CONTAMINANTE PRESENTE EM UM MEIO AMBIENTE, E, COMPOSIÇÃO”

Este pedido reivindica o benefício do Pedido Provisório U.S. de No. 60/728.626 depositado aos 20 de outubro de 2005.

### 5 CAMPO DA INVENÇÃO

A presente invenção refere-se à oxidação in situ e ex situ de compostos orgânicos em solos bem como em águas tal como água subterrânea, água de processo e água residual. A invenção particularmente se refere à oxidação in situ de compostos orgânicos voláteis e semi-voláteis, 10 pesticidas e herbicidas, e outros compostos orgânicos recalcitrantes em solo e água subterrânea.

### FUNDAMENTOS DA INVENÇÃO

A contaminação de solos de sub-superfície e água subterrânea por compostos orgânicos voláteis (VOCs), compostos orgânicos semi-voláteis 15 (SVOCs) bem como herbicidas e pesticidas é um problema bem documentado. Muitos contaminantes VOC e SVOC migram através do solo sob a influência da gravidade para contaminarem a água subterrânea à medida que a água passa através do solo contaminado. Notáveis dentre estes são os compostos orgânicos voláteis ou VOCs que incluem qualquer composto 20 químico de carbono pelo menos ligeiramente solúvel em água, com uma Constante da Lei de Henry maior do que  $1,0133 \times 10^{-3}$  Pa.m<sup>3</sup>/mol, que é tóxico ou carcinogênico, é capaz de se mover através do solo sob a influência da gravidade e de servir como uma fonte de contaminação de água pela dissolução na água passando através do solo contaminado devido à sua 25 solubilidade, incluindo, mas não limitado a, solventes clorados tais como trifluoroetileno (TCE), cloreto de vinila, tetracloroetileno (PCE), cloreto de metileno, 1,2-dicloro-etano, 1,1,1-tricloro-etano (TCA), 1,1-dicloro-etano, tetracloroeto de carbono, benzeno, clorofórmio, cloro-benzenos, e outros compostos tais como dibrometo de etileno, e metil-terciário-butil-éter.

Muitos contaminantes VOC e SVOC também são tóxicos ou carcinogênicos. Estes contaminantes VOCs e SVOC's incluem, mas não são limitados a, solventes clorados tais como tetracloroetileno (TCE), cloreto de vinila, tetracloroetileno (PCE), cloreto de metileno, 1,2-dicloroetano, 1,1,1-tricloroetano (TCA), tetracloroeto de carbono, clorofórmio, cloro-benzenos. Outros exemplos de VOCs e SVOCs incluem benzeno, tolueno, xileno, etilbenzeno, dibrometo de etileno, metil-terciário-butil-éter, hidrocarbonetos poliaromáticos, policlorobifenilas, ftalatos, 1,4-dioxano, nitroso-dimetilamina, e metil-terc-butil-éter.

A descarga de contaminantes VOC e SVOC tais como aqueles listados nos solos acarreta contaminação de aquíferos e degrada recursos de água subterrânea para uso futuro. Tratamento e remediação de solos contaminados com VOCs e SVOCs são caros e muitas vezes mal sucedidos. Por exemplo, remediação de solos contaminados com VOCs que são parcial ou completamente imiscíveis com água é particularmente difícil. Também a remediação de solos contaminados com contaminantes orgânicos elevadamente solúveis mas biologicamente estáveis tais como MTBE e 1,4-dioxano é muito difícil com tecnologias convencionais. Líquidos de fase não-aquosa ("NAPL") presentes na sub-superfície do solo podem ser tóxicos e podem liberar lentamente VOCs dissolvidos para água subterrânea para gerar fontes de longa duração (i.e., décadas ou mais) de contaminação da sub-superfície do solo. De fato, plumas de contaminante de água subterrânea de sub-superfície podem se estender centenas a milhares de pés da fonte do contaminante químico. Os contaminantes químicos podem ser então transportados para dentro de fontes de água potável, lagos, rios, e até mesmo porões de lares através de volatilização da água subterrânea.

A técnica tem tentado solucionar a remediação do solo e de água subterrânea contaminados com VOCs e SVOCs. US 6.474.908 (Hoag, et al) e US 6.019.548 (Hoag et al) ensinam o uso de persulfato com catalisador

de sal de metal de transição divalente para destruir os VOC's no solo. Uma desvantagem desta técnica, contudo, é que os metais de transição divalentes sob oxidação e/ou hidrólise podem sofrer precipitação. Isto limita a capacidade de sobrevivência e o transporte do catalisador de metal de transição, e como conseqüência a reatividade do persulfato no campo de contaminação. É sabido que ferro (III) catalisa reações de peróxido de hidrogênio (Hydrogen Peroxide; Schumb, W.C; Satterfield, CN; e Wentworth, R.L; Reinhold Publishing Corporation, New York, NY, 1955; pg 469). Complexos de ferro (III) usados com peróxido de hidrogênio mostram uma capacidade para oxidarem pesticidas complexos (Sun, Y e Pignatello, J. J. Agr. Food. Chem, 40:322-37, 1992). Contudo ferro (III) é um catalisador insatisfatório para ativação de persulfato.

A U.S. Environmental Protection Agency (USEPA) tem estabelecido limites de concentração máxima para vários compostos contaminantes. Existem limites muito baixos e rigorosos sobre a quantidade de compostos orgânicos halogenados em água potável. Por exemplo, a concentração máxima de solventes tais como tricloroetileno, tetracloroetileno, e tetracloreto de carbono em água potável é 5 mu.g/L, e as concentrações máximas de cloro-benzenos, bifenilas policloradas (PCBs), e dibrometo de etileno são 100.mu.g/L, 0.5.mu./L, e 0.05.mu.g/L, respectivamente. Satisfazer a estes limites durante a remediação de solos contaminados é muitas vezes virtualmente impossível usando tecnologias existentes.

Portanto há uma necessidade de um método de remediação que suplante as deficiências da técnica anterior.

## 25 SUMÁRIO DA INVENÇÃO

A presente invenção é um método para remediação de solo, sedimento, argila, rocha, e semelhante (daqui em diante coletivamente referidos como "solo") e água subterrânea (i.e., água encontrada subterraneamente em fendas e espaços no solo, areia e rochas), água de

processo (i.e. água resultante da vários processos industriais) ou água residual (i.e. água contendo resíduo doméstico ou industrial) contaminados com compostos orgânicos voláteis, compostos orgânicos semi-voláteis, pesticidas ou herbicidas. Em adição, pode ser usado para tratar lamas, areias ou alcatrões.

O método descrito usa uma composição compreendendo um ou mais compostos peroxigenados em fase sólida e ferro de valência zero sob condições suficientes para oxidar contaminantes tais como VOCs, SVOCs, herbicidas e pesticidas em solos e água contaminados.

O método de oxidação de um composto orgânico requer o contato de composto orgânico com uma composição compreendendo um composto peroxigenado solúvel em água e ferro de valência zero. O composto orgânico pode estar presente em um meio ambiente incluindo solo, água subterrânea, água de processo ou água residual. O composto peroxigenado solúvel em água pode ser qualquer um de persulfato de sódio, persulfato de potássio, persulfato de amônio e suas misturas, tais misturas de dipersulfato e monopersulfato, preferivelmente persulfato de sódio. A concentração de composto peroxigenado na solução é de cerca de 0,5 mg/L a cerca de 250.000 mg/L e o ferro de valência zero e o persulfato de sódio podem estar presentes em uma suspensão. A concentração de ferro de valência zero na suspensão é de cerca de 1 ppm a cerca de 1.000 ppm em uma base de metal. Preferivelmente, ferro de valência zero contata o composto orgânico antes de contatar o composto orgânico com o composto peroxigenado. Compostos orgânicos que podem ser oxidados incluem tricloroetileno (TCE), cloreto de vinila, tetracloroetileno (PCE), cloreto de metileno, 1,2-dicloroetano, 1,1,1-tricloroetano (TCA), tetracloroeto de carbono, clorofórmio, cloro-benzenos, benzeno, tolueno, xileno, etil-benzeno, dibrometo de etileno, metil-terciário-butílo-éter, hidrocarbonetos poliaromáticos, policloro-bifenilas, ftalatos, 1,4-dioxano, nitroso-dimetil-amina, e metil-terc-butílo-éter.

## DESCRIÇÃO DAS MODALIDADES PREFERIDAS

Geralmente, os métodos descritos acarretam a oxidação de compostos orgânicos tais como VOCs, SVOCs, pesticidas e herbicidas presentes no solo e na água. O método acarreta o contato de solos e águas contaminados com uma composição compreendendo um composto peroxigenado solúvel em água e ferro de valência zero para oxidar contaminantes tais como VOCs, SVOCs, hidrocarbonetos poliaromáticos, policloro-bifenilas, pesticidas e herbicidas. Exemplos destes contaminantes incluem mas não são limitados a solventes clorados tais como tricloroetileno (TCE), cloreto de vinila, tetracloroetileno (PCE), cloreto de metileno, 1,2-dicloroetano, 1,1,1-tricloroetano (TCA), tetracloroeto de carbono, clorofórmio, cloro-benzenos. Outros exemplos de VOCs e SVOCs incluem benzeno, tolueno, xileno, etil-benzeno, dibrometo de etileno, metil-terciário-butil-éter, hidrocarbonetos poliaromáticos, policloro-bifenilas, ftalatos, 1,4-dioxano, nitroso-dimetil-amina, e metil-terc-butil-éter.

Em um primeiro aspecto, a oxidação de compostos orgânicos tais como aqueles listados acima pode ser realizada por injeção de uma quantidade de uma suspensão de ferro de valência zero em uma solução aquosa de um ou mais compostos peroxigenados em fase sólida solúveis em água nos solos ou águas contaminados. Como aqui usado, “composto peroxigenado em fase sólida solúvel em água” significa um composto que é sólido e solúvel em água na temperatura ambiente e que contém um grupo O — O. Exemplos de compostos peroxigenados em fase sólida solúveis em água que podem ser usados incluem dipersulfatos tais como persulfato de sódio, persulfato de potássio e persulfato de amônio. O dipersulfato mais preferido é persulfato de sódio porque possui a solubilidade mais alta em água e é menos caro. Além disso, gera sódio e sulfato sob redução, ambos os quais são relativamente benignos das perspectivas de meio ambiente e de saúde. Persulfato de potássio e persulfato de amônio são exemplos de outros

persulfatos que podem ser usados, preferivelmente persulfato de sódio porque possui a mais alta solubilidade em água e é menos caro. Além disso, gera sódio e sulfato sob redução, ambos os quais são relativamente benignos das perspectivas de meio ambiente e de saúde. Persulfato de potássio e persulfato de amônio são exemplos de outros persulfatos que podem ser usados. Persulfato de potássio, contudo, é uma ordem de magnitude menos solúvel em água do que o persulfato de sódio; e persulfato de amônio é ainda menos desejável porque pode se decompor em constituintes tal como íon amônio que são de preocupação potencial para a saúde.

10 O tamanho de partícula do ferro de valência zero na suspensão pode variar de nanoescala, i.e., cerca de 10 nanômetros a cerca de 1 micrôn a microescala, i.e., de cerca de 1 micrôn a cerca de 5 microns. Ferro de valência zero dentro destas faixas de tamanho está geralmente comercialmente disponível. Preferivelmente, a suspensão inclui ferro de valência zero em uma  
15 solução aquosa de persulfato de sódio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$ ). A concentração do ferro de valência zero na suspensão pode variar de cerca de 1 a cerca de 1.000 ppm em uma base de metal.

O composto peroxigenado e ferro de valência zero pode ser misturado junto com a composição enviada ou armazenada antes de ser  
20 combinado com água no mesmo vaso antes da injeção. Soluções do composto peroxigenado e o ferro podem ser injetados simultânea ou seqüencialmente em cujo caso a composição é formada no meio ambiente. Se injetados seqüencialmente, é preferível que o ferro seja injetado primeiro. Em outra modalidade, o ferro de valência zero pode estar em uma barreira de reação  
25 permeável (PRB) e o persulfato introduzido no supra-gradiente do meio ambiente da PRB. Também é preferido que composto peroxigenado suficiente seja injetado para satisfazer a demanda de oxidante do solo, compensar qualquer decomposição e oxidar e destruir a maior parte se houver dos compostos orgânicos. Demanda de oxidante do solo, (SOD), é a perda de persulfato devido à

reação com os componentes de matriz do solo bem como através de auto-decomposição do persulfato, bem como a demanda química de oxidante, e para compensar qualquer decomposição do composto peroxigenado.

Um método para calcular a quantidade preferida de composto peroxigenado a ser usada por massa unitária de solo (para um volume identificado de solo no sítio) é primeiro a determinação da quantidade mínima de composto peroxigenado necessária para totalmente satisfazer a demanda de oxidante de solo por massa unitária de solo não contaminado. Uma amostra de solo contaminado de volume de solo identificado é então tratada com aquela quantidade predeterminada (por massa unitária) de composto peroxigenado; e a quantidade mínima de composto peroxigenado requerida para eliminar os compostos orgânicos naquela amostra tratada é então determinada. A estequiometria da reação química governa as razões de massa / massa e assim a quantidade total requerida para alcançar o resultado desejado. Na realidade a quantidade de composto peroxigenado injetada nos várias localizações em um único sítio contaminado variará dependendo do que é aprendido das amostras de núcleo e de outras técnicas para mapeamento do que é crido como sendo as condições de sub-superfície. SOD também pode ser calculada de acordo com a fórmula (I):

$$SOD = V*(C_0 - C_f)/m_s \quad (I)$$

Na qual V = volume de água subterrânea usado na amostra

$C_0$  = concentração inicial de persulfato em tempo 0

$C_f$  = concentração de persulfato após 48 horas

$m_s$  = massa de solo usada na amostra

Dependendo do tipo de solo, compostos alvo, e outra demanda de oxigênio no sítio, as concentrações de composto peroxigenado na solução usada na presente invenção pode variar de cerca de 0,5 mg/L a maior do que cerca de 250.000 mg/L. As concentrações preferidas são uma função das características do solo, incluindo as demandas de oxidante específicas de sítio. Condições hidrogeológicas governam a velocidade de movimento dos

compostos químicos através do solo, e aquelas condições têm que ser consideradas com a química do solo para entender como melhor realizar a injeção. As técnicas para fazer estas determinações e realizar as injeções são bem conhecidas na técnica. Por exemplo, poços ou perfurações podem ser perfurados em várias localizações dentro e ao redor do sítio contaminado suspeito para determinar, tão rigorosamente quanto possível, onde a contaminação está localizada. Amostras de núcleo podem ser removidas, sendo úteis para proteger as amostras de oxidação atmosférica. As amostras podem ser então usadas para determinar a demanda de oxidante do solo, a demanda química de oxidante (e.g. VOC) e a estabilidade de oxidante existente na sub-superfície. Os compostos químicos precisos no solo e a sua concentração podem ser determinados. Água subterrânea contaminada pode ser coletada. Oxidantes podem ser adicionados na água subterrânea coletada durante os experimentos de tratabilidade em laboratório para determinar quais compostos são destruídos, em qual ordem e em qual grau, na água subterrânea. Pode ser determinado se os mesmos oxidantes são capazes de destruir aqueles compostos químicos no ambiente do solo.

O objetivo é que a concentração de composto peroxigenado na solução injetada seja apenas suficiente para resultar na frente de reação de composto peroxigenado através da área de contaminação requerendo tratamento em quantidade suficiente para oxidar os contaminantes presentes. (A zona de solo saturado é a zona de solo que jaz abaixo da superfície de água e está totalmente saturada. Esta é a região na qual a água subterrânea existe e flui.) Em certas zonas saturadas onde a velocidade natural da água subterrânea é muito lenta para os propósitos de tratamento dentro de um certo período de tempo, a velocidade da água subterrânea pode ser aumentada pelo aumento da vazão de fluxo da solução de persulfato injetada ou instalação de poços de extração de água subterrânea para direcionar o fluxo da solução de composto peroxigenado injetada. Certos solos a serem tratados podem estar em zonas não

saturadas e o método de injeção de composto peroxigenado pode ser baseado em infiltração ou gotejamento da solução de composto peroxigenado para dentro da sub-superfície para proporcionar contato suficiente dos solos com os compostos químicos injetados. Certos solos e condições requererão quantidades grandes  
5 composto peroxigenado para destruir a demanda de oxidante do solo, enquanto que outros solos e condições podem não requerer. Por exemplo, solos arenosos possuindo tamanho de partícula grande possuem área superficial muito grande, compostos muito pouco oxidáveis e portanto são de demanda de oxidante do solo muito pequena. Por outro lado, solos lodosos ou argilosos, que são de grão  
10 muito fino, teriam uma área superficial grande por volume unitário. Também provavelmente contêm quantidades maiores de compostos oxidáveis, e também podem causar um grau maior de decomposição do composto peroxigenado e assim possuem uma demanda de oxidante do solo total mais elevada.

Para o tratamento do solo in situ, as velocidades de injeção  
15 têm que ser escolhidas sob as condições hidrogeológicas, isto é, a capacidade da solução oxidante de se deslocar, misturar e dispersar com água subterrânea existente e de se mover através do solo. Adicionalmente, velocidades de injeção têm que ser suficientes para satisfazer a demanda de oxidante do solo e a demanda química do solo em um período de tempo realista. É vantajosa a  
20 limpeza de sítios em uma maneira efetiva em termos tanto de custo e quanto de tempo. Avaliação cuidadosa de parâmetros do sítio é crucial. É bem sabido que a permeabilidade do solo pode mudar rapidamente como uma função tanto da profundidade quanto da dimensão lateral. Portanto, localizações de poço de injeção também são sítio específicas. Aplicação apropriada de qualquer tecnologia  
25 de remediação depende do conhecimento das condições de sub-superfície, tanto químicas quanto físicas, e este processo não é diferente com respeito a isto.

Qualquer composto de persulfato de fase sólida solúvel em água pode ser usado incluindo monopersulfatos e dipersulfatos. Dipersulfatos são preferidos porque são baratos e sobrevivem por períodos longos no solo

saturado com água subterrânea sob condições de sítio típicas.

Estas composições da presente invenção compreendendo um composto peroxigenado no estado sólido, solúvel em água e ferro de valência zero também podem ser usadas ex situ para tratar quantidades de solo contaminado que têm sido removidas do terreno.

De acordo com o método da presente invenção os contaminantes são tratados em um meio ambiente. Como aqui usado “meio ambiente” refere-se a um ambiente onde contaminantes são encontrados incluindo, sem limitação, solo, rocha, água subterrânea, plumas contaminadas, água de processo, água residual e semelhante.

O processo da presente invenção pode ser realizado in situ ou ex situ. Tratamento in situ é conduzido no ambiente físico onde o(s) contaminante(s) são encontrado(s). Tratamento ex situ envolve remoção do meio contaminado da localização onde é encontrado e o tratamento é realizado em uma localização diferente.

Com o objetivo de escrever a invenção com mais detalhe, os seguintes exemplos são descritos.

### **Exemplo 1**

#### **Estabilidade de Persulfato / Ferro de valência zero**

A estabilidade de persulfato na presença de ferro de valência zero (ZVI) foi demonstrada pelo seguinte procedimento. As seguintes abreviações são usadas para identificar os materiais / equipamento:

ZVI - ferro de valência zero Fe (0).

FeEDTA - Fe (II) quelado com ácido etileno-diamino-tetraacético (EDTA).

frascos VOA - frascos usados para análise de compostos orgânicos voláteis.

DI - deionizado.

Procedimento Experimental:

- Um litro de água DI foi adicionado em cada frasco VOA.
- Persulfato de sódio foi adicionado nos frascos VOA em três

dosagens diferentes: 1, 3 e 5 gramas

5       • FeEDTA foi adicionado em um conjunto de três frascos contendo as três dosagens diferentes de persulfato em uma concentração de 0,2 g de Fe em cada frasco.

      • ZVI foi adicionado em um conjunto de três frascos contendo as três dosagens diferentes de persulfato em uma concentração de 0,2 g de Fe em cada frasco.

10       • Um conjunto de três frascos nas três dosagens diferentes de persulfato não foi dosado com ferro.

      • Concentrações de persulfato foram medidas após uma semana e duas semanas via métodos de titulação padrão.

15       A percentagem de persulfato restante (como uma média das três dosagens de persulfato naquele período de tempo) após estes tempos é mostrada na Tabela 1:

**Tabela 1**

Ativador	% de persulfato restante	
	1 Semana	2 Semanas
Sem Fe	88,6	71,5
Fe-EDTA	74,9	61,5
ZVI	66,6	51,1

20       Como pode ser visto na Tabela 1, persulfato mostrou estabilidade aproximadamente equivalente na presença de ZVI como na presença de FeEDTA

### **Exemplo 2**

#### Tratamento de Compostos Orgânicos

25       A eficiência de uso de uma combinação de persulfato e ferro de valência zero para tratar compostos orgânicos foi mostrada pelo seguinte procedimento. As seguintes abreviações são usadas para identificar os materiais / equipamento:

ZVI - ferro de valência zero Fe (0).

FeEDTA - Fe (II) quelado com ácido etileno-diamino-tetraacético (EDTA).

5 frascos VOA - frascos usados para análise de compostos orgânicos voláteis.

DI - deionizado.

Os seguintes contaminantes orgânicos foram usados:

- Etenos clorados, ou “cloroetenos”, refere-se a uma mistura de tetracloroetano, tricloroetano, cis-1,2-dicloroetano, e 1,1- dicloroetano,

10 - BTEX refere-se a uma mistura de benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno

- Benzenos clorados, ou “cloro-benzenos”, refere-se a uma mistura de cloro-benzeno, 1,2-dicloro-benzeno, e 1,3-dicloro-benzeno

15 - “Oxigenatos” refere-se aos álcoois e éteres incluindo metil-terc-butil-éter (MTBE)

Procedimento Experimental:

- Um litro de água DI foi adicionado em cada frasco VOA.

- 1,0 g de persulfato de sódio foi adicionado em cada frasco VOA.

20 • Frascos foram dosados com quer ZVI, sulfato de amônio e Fe(II) quer FeEDTA para alcançar 0,5 g de Fe no frasco. Para combinações de ZVI / Fe(II), quantidades iguais foram utilizadas para alcançar 0,5 g de Fe.

- Frascos foram dosados com uma solução de estoque dos contaminantes identificados acima para alcançar uma dosagem de contaminante de 10 - 20 mg / L.

25 • Os frascos VOA foram cheios para alcançar espaço confinante zero.

- Os frascos foram armazenados na temperatura ambiente por 7 dias. Após período de reação de 7 dias, os frascos foram armazenados a 4°C para análise. Análises foram realizadas em um cromatógrafo a gás /

espectrômetro de massa usando USEPA SW-846, Método 8260B.

Os resultados em ug/L são mostrados em Tabela 2, comparados com a concentração inicial indicada pelo Tempo = 0:

**Tabela 2**

	Tempo = 0	Controle Água DI	Persulfato sozinho	Persulfato + Fe II	Persulfato + ZVI
Cloroetenos	49.372	44.419	34.000	0	0
Cloro-benzenos	38.371	41.417	25.444	0	0
BTEX	50.749	46.146	8.324	0	0
Oxigenatos	42.747	43.303	34.387	0	6.458

5 Como pode ser visto da Tabela 2, a combinação de persulfato e ZVI foi efetiva no tratamento de compostos orgânicos indicados.

### Exemplo 3

#### Tratamento de Compostos Orgânicos

10 O procedimento descrito em Exemplo 2 foi usado para avaliar a eficácia de uso de persulfato e ferro de valência zero para tratar vários compostos orgânicos. Em adição àqueles em Exemplo 2, os seguintes contaminantes orgânicos foram usados:

1,1,1-TCA refere-se a 1,1,1 - tricloroetano

1,1-DCA refere-se a 1,1-dicloroetano

15 1,2-DCA refere-se a 1,2-dicloroetano

Os resultados são mostrados em Tabela 3.

**Tabela 3**

	Tempo=0	Controle	ZVI apenas	ZVI/ Persulfato	Persulfato de Fe II	ZVI/ Persulfato de Fe II	Persulfato apenas
	ug/L						
Etenos cloratos totais	40.364	40.737	30.993	104	0	0	19.904
BTEX Total	43.124	44.139	44.994	0	0	0	7.395
1,1,1-TCA	11.423	12.451	650	2.393	12.419	1.451	10.667
1,1-DCA	11.912	12.967	15.623	9.350	8.150	9.090	11.450
1,2-DCA	14.530	14.879	15.681	10.567	9.900	9.750	13.596
Tetracloroeto de carbono	11.681	12.619	786	0	11.864	0	10.539
Cloro- benzeno	12.103	12.048	12.743	0	0	0	4.331
MTBE	12.229	12.557	13.270	0	0	106	11.076

20 Como pode ser visto na Tabela 3, persulfato ativado com ZVI destruiu uma ampla variedade de contaminantes. Também, ZVI pode ser usado em combinação com Fe II para ativar persulfato.

## REIVINDICAÇÕES

1. Método de oxidação de um contaminante presente em um meio ambiente, caracterizado pelo fato de compreender contatar o contaminante com uma composição compreendendo um composto peroxigenado solúvel em água e ferro de valência zero.

2. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o meio ambiente é selecionado de solo, água subterrânea, água de processo ou água residual.

3. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o contaminante é um composto orgânico selecionado do grupo consistindo de compostos orgânicos voláteis, compostos orgânicos semi-voláteis, hidrocarbonetos poliaromáticos, policloro-bifenilas, pesticidas e herbicidas.

4. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o composto peroxigenado é um dipersulfato.

5. Método de acordo com a reivindicação 4, caracterizado pelo fato de que o dipersulfato é selecionado de persulfato de sódio, de potássio ou de amônio ou uma combinação dos mesmos.

6. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o composto peroxigenado é um monopersulfato.

7. Método de acordo com a reivindicação 6, caracterizado pelo fato de que o monopersulfato é selecionado de monopersulfato de sódio e de potássio.

8. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o composto peroxigenado é uma combinação de um dipersulfato e monopersulfato.

9. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o ferro de valência zero possui um tamanho de partícula em nanoescala de cerca de 10 nanômetros a cerca de 1 micrão.

10. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o ferro de valência zero possui um tamanho de partícula em microescala de cerca de 1 micron a cerca de 5 microns.

5 11. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a concentração de composto peroxigenado é de cerca de 0,5 mg/L a cerca de 250.000 mg/L.

12. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a concentração de ferro de valência zero é de cerca de 1 ppm a cerca de 1.000 ppm em uma base de metal.

10 13. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a oxidação é realizada in situ ou ex situ.

14. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o composto peroxigenado solúvel em água é persulfato de sódio.

15 15. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o ferro de valência zero e o persulfato de sódio estão presentes em uma suspensão.

20 16. Método de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pelo fato de que o composto orgânico é selecionado do grupo consistindo de tricloroetileno (TCE), cloreto de vinila, tetracloroetileno (PCE), cloreto de metileno, 1,2-dicloroetano, 1,1,1-tricloroetano (TCA), tetracloro de carbono, clorofórmio, cloro-benzenos, benzeno, tolueno, xileno, etil-benzeno, dibrometo de etileno, metil-terciário-butil-éter, hidrocarbonetos poliaromáticos, policloro-bifenilas, ftalatos, 1,4-dioxano, nitroso-dimetil-  
25 amina, e metil-terc-butil-éter.

17. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o contaminante está presente em solo ou água subterrânea.

18. Composição adequada para uso no tratamento de um contaminante presente em um meio ambiente, caracterizada pelo fato de

compreender um composto peroxigenado solúvel em água e ferro de valência zero.

5                    19. Composição de acordo com a reivindicação 18, caracterizada pelo fato de que o composto peroxigenado é um monopersulfato ou um dipersulfato.

                    20. Composição de acordo com a reivindicação 19, caracterizada pelo fato de que o composto peroxigenado é persulfato de sódio.

RESUMO

“MÉTODO DE OXIDAÇÃO DE UM CONTAMINANTE PRESENTE EM UM MEIO AMBIENTE, E, COMPOSIÇÃO”

5 Um método melhorado e composições melhoradas para tratar compostos orgânicos presentes em óleo, água subterrânea e outros ambientes são descritos. O método envolve o uso de uma composição compreendendo um composto peroxigenado solúvel em água, no estado sólido e ferro de valência zero.