

# DOSSIÊ TÉCNICO

Métodos de Tratamento de Resíduos de Petróleo

Jéferson Luiz Francisco  
Karime Cruz França

Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro - REDETEC

Dezembro  
2007

## Sumário

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>2</b>
<b>2 CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS OLEOSOS</b> .....	<b>3</b>
2.1 Resíduos Classe I – Perigosos .....	4
2.2 Resíduos Classe II – Não Inertes.....	5
2.3 Resíduos Classe III – Inertes .....	5
<b>3 INCINERAÇÃO</b> .....	<b>5</b>
<b>4 CO-PROCESSAMENTO</b> .....	<b>6</b>
<b>5 LANDFARMING</b> .....	<b>6</b>
<b>6 COMPOSTAGEM</b> .....	<b>8</b>
<b>7 REATORES BIOLÓGICOS</b> .....	<b>8</b>
<b>8 INCORPORAÇÃO EM INDÚSTRIAS CERÂMICAS</b> .....	<b>8</b>
<b>9 ATERROS</b> .....	<b>9</b>
<b>10 LAVAGEM DA AREIA CONTAMINADA</b> .....	<b>10</b>
11.1 Objetivos Do Encapsulamento .....	11
11.2 Solidificação .....	11
11.3 Estabilização .....	12
<b>12 AÇÃO DOS MICRORGANISMOS</b> .....	<b>12</b>
12.1 Biodegradação .....	13
12.2 Biorremediação .....	14
12.2.1 Biorremediação <i>In Situ</i> .....	15
12.2.2 Biorremediação <i>Ex Situ</i> .....	17
<b>13 LEGISLAÇÃO</b> .....	<b>17</b>
<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b> .....	<b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.</b>
Anexo 1: Exemplo De Uma Instalação De Solidificação De Lodos Perigosos .....	20
Anexo 2: Exemplo De Biorremediação In-Situ .....	20
Anexo 3: Tipos De Resíduos Associados, Volume Relativo E Operação, .....	20



## DOSSIÊ TÉCNICO



### Título

Métodos de tratamento de resíduos de petróleo

### Assunto

Tratamento e disposição de resíduos

### Resumo

A disposição final de resíduos oriundos da indústria de petróleo e seus derivados, geralmente acarretam riscos relativos ao meio ambiente devido às características de cada resíduo e as tecnologias utilizadas. A incineração apresenta problemas de poluição atmosférica e elevado custo; os aterros apresentam riscos para corpos hídricos e para a saúde pública, além de dificuldades operacionais e custos. Porém, quando se consideram resíduos industriais passíveis de biodegradação, a disposição final destes pode ser realizada, de maneira segura e econômica.

Diante do exposto, o presente Dossiê Técnico, trará informações sobre tratamento de resíduos de petróleo, através do uso das seguintes técnicas: **landfarming**, que pode ser definido como um sistema de tratamento de resíduos através de um processo biotecnológico, que utiliza a população microbiana do solo para a degradação destes; **biodegradação**, processo natural onde compostos químicos são degradados por via biológica; **biorremediação**; processo tecnológico no qual organismos vivos são utilizados para remover ou reduzir (remediar) contaminantes no ambiente e por fim, aspectos gerais da **tecnologia de encapsulamento**

### Palavras chave

Biodegradação; biorremediação; compostagem; incineração; landfarming; petróleo; resíduos; resíduos oleosos; solidificação

### Conteúdo

#### 1 INTRODUÇÃO

No início, as empresas eram vistas somente como instituições econômicas, preocupadas somente com o que, como e para quem produzir. Entretanto, este fato vem mudando uma vez que as instituições estão mostrando uma visão sócio-política, na qual a preocupação com aspectos como proteção ao consumidor, segurança e qualidade dos produtos, assistência médica e social e, entre outros, controle da poluição, estão sendo mostrados.

Esta mudança é resultado da conscientização da sociedade que têm direcionado o comportamento das empresas, conseqüentemente gerando uma nova legislação a fim de melhorar o padrão ético das corporações.

A preocupação ecológica está evidenciada nesta visão voltada para o social. As empresas têm implantado sistemas de proteção ambiental tanto por imposição do mercado como por iniciativa própria, visando retorno financeiro no futuro. Nos dois casos, a estratégia é prevenir as fiscalizações dos Órgãos Ambientais. Uma empresa que não apresenta preocupação com os aspectos ambientais pode ter como resposta um aumento dos custos, diminuição dos lucros, perda de posição no mercado e, até mesmo, privação da liberdade ou cessação de atividades.

O petróleo é um produto natural formado pela ação de microrganismos sob condições de

alta temperatura e pressão. As empresas que exploram este produto estão altamente relacionadas com a questão ambiental por se tratar de um ramo industrial com alto potencial de poluição e contaminação.

Segundo BRAGA *et al* (1), na indústria de extração de petróleo (FIG. 1) e gás são realizadas diversas etapas desde a prospecção nos campos até o início do processo de refino, sendo que cada uma delas gera efluentes e resíduos sólidos a serem tratados e descartados. Os principais resíduos gerados são a água produzida, que inevitavelmente acompanha o óleo cru, os resíduos de perfuração (cascalhos e fluidos), e uma série de outros resíduos comumente denominados resíduos associados.

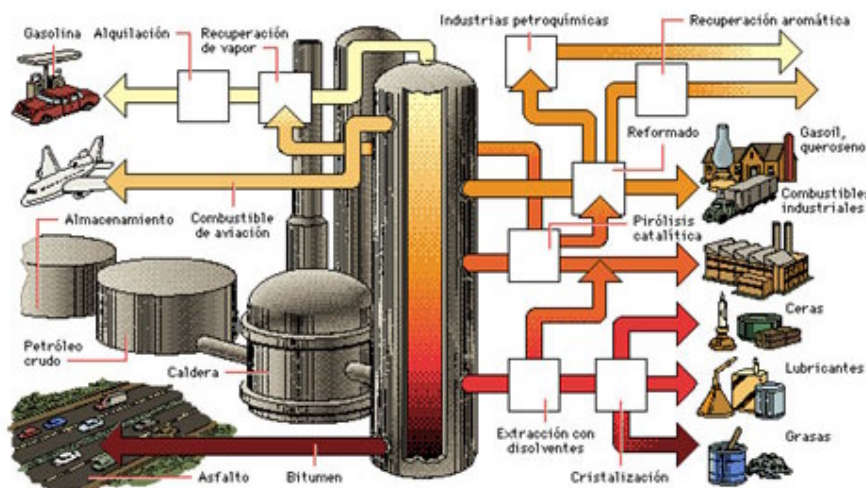


Figura 1: Indústria Petrolífera  
FONTE: SABER WEB

Resíduo oleoso é proveniente das atividades de Exploração e Produção de óleo e gás, constituído por material sólido e hidrocarbonetos, e que apresenta estado físico variável (sólido, pastoso, líquido).

Esses resíduos oleosos são compostos basicamente de hidrocarbonetos aromáticos e alifáticos, água e sólidos, em proporções que variam conforme suas origens, possuindo pequenas quantidades de metais pesados.

A utilização do petróleo na sociedade moderna tem gerado uma série de problemas ao meio-ambiente como: o aumento dos níveis de CO<sub>2</sub> na atmosfera (pela queima dos hidrocarbonetos); e a contaminação de águas e solos durante os processos de extração, transporte e armazenamento.

A grande variedade de resíduos sólidos e semi-sólidos, gerados nestas unidades, aliada à presença de substâncias potencialmente tóxicas, tem exigido dos profissionais envolvidos no gerenciamento destes resíduos exaustivos esforços no sentido de buscar soluções apropriadas, sem prejuízo à saúde pública e ao meio ambiente.

A busca por tratamentos eficazes que possam ser implementados a um custo acessível é um problema de difícil solução dentro do programa de gerenciamento de resíduos da indústria petrolífera. Os métodos mais empregados no tratamento desses resíduos são: Incineração; Co-Processamento; Landfarming; Compostagem; Reatores Biológicos; Incorporação em Indústrias Cerâmicas; Aterros Industriais; e a Solidificação/Estabilização como pré-tratamento antes da disposição em Aterros Industriais (OLIVEIRA, 2003).

## 2 CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS OLEOSOS

Entre os resíduos (FIG. 2) gerados pelas indústrias do setor petrolífero, destacam-se aqueles compostos por solo (argilas, areias e cascalhos) e óleo, gerado durante as etapas de produção, processamento, transporte e refino de petróleo. Tais resíduos constituem um passivo ambiental significativo, em função da quantidade gerada, ausência e/ou indefinição

de tecnologias de tratamento e disposição final de baixo custo e falta de legislação específica.

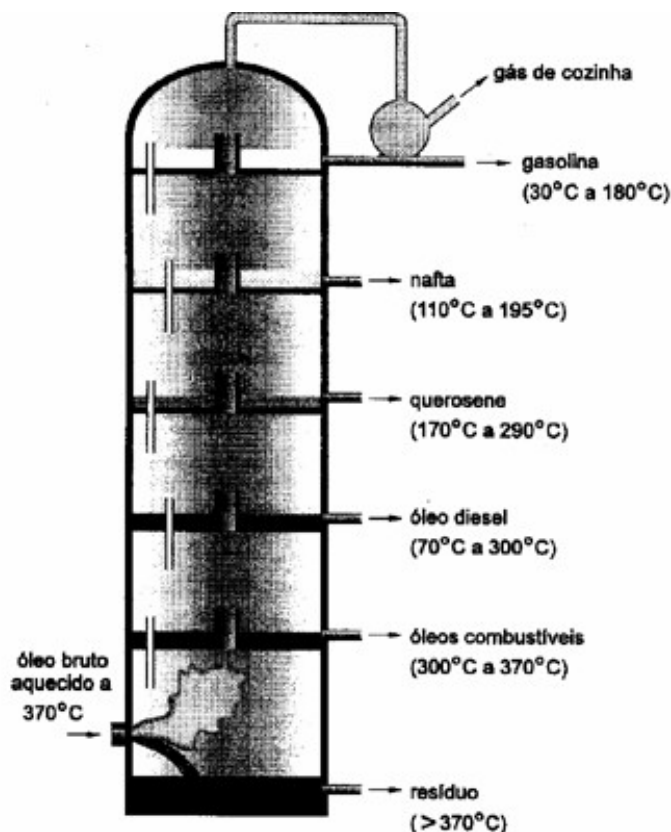


Figura 2: Formação de Resíduos.  
 FONTE: EDUCAÇÃO 360.

Conforme BRAGA *et al* (1), os resíduos oleosos foram caracterizados e classificados segundo a norma NBR 10004/87 – Classificação de Resíduos, editada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), afim de padronizar, a nível nacional, a classificação de resíduos. Na TAB. 1, apresenta-se a identificação, nome e objetivo de cada uma destas normas.

Tabela 1: Normas para a classificação de resíduos

Norma	Nome e Objetivo
NBR 10004	Classificação de Resíduos
NBR 10005	Lixiviação de Resíduos
NBR 10006	Solubilização de Resíduos
NBR 10007	Amostragem de Resíduos

FONTE: BRAGA

Ainda segundo BRAGA *et al* (1), a norma NBR 10004 os resíduos podem ser classificados em três classes:

### 2.1 Resíduos Classe I – Perigosos

Aqueles que possam apresentar risco à saúde pública, provocando ou acentuando, de forma significativa, um aumento de mortalidade ou incidência de doenças; riscos ao meio ambiente, quando o resíduo é manuseado ou destinado de forma inadequada.

A NBR 10004 classifica como perigosos, os resíduos que apresentam qualquer uma das seguintes características: corrosividade, inflamabilidade, patogenicidade, reatividade e toxicidade.

## 2.2 Resíduos Classe II – Não Inertes

São aqueles que podem ter propriedades tais como combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água.

## 2.3 Resíduos Classe III – Inertes

São aqueles que, submetidos ao teste de solubilização (NBR 10006) não tenham nenhum dos seus constituintes solubilizados, em concentrações superiores aos padrões definidos na NBR 10004 (Listagem 8 – Padrões para o teste de solubilização).

## 3 INCINERAÇÃO

É o processo que tem como objetivo destruir os compostos tóxicos através da queima por intermédio de equipamentos que operam à alta temperatura (entre 1000 e 1300°C), sob condições controladas, podendo ser dos seguintes tipos: injeção líquida, forno rotativo, leito fluidizado e forno de múltiplos estágios. Via de regra são fixos.

Dentre as vantagens da utilização do processo de incineração estão a velocidade de destruição do resíduo, a possibilidade do aproveitamento do mesmo como combustível auxiliar, devido ao seu alto poder calorífico, e a ausência de necessidade de retirar o material do local, eliminando gastos com o transporte. Como desvantagens, além do alto custo (varia conforme os constituintes do produto, seu poder calorífico e os tipos de cinzas formados na queima), destaca-se a dificuldade de controle da operação para evitar a emissão de poluentes e o incômodo à população. A queima no próprio local de trabalho a céu aberto, não é considerada aceitável pelo órgão de controle ambiental devido à emissão de compostos tóxicos indesejáveis para a atmosfera, cuja formação estaria associada à queima incompleta dos resíduos, podendo produzir níveis não aceitáveis de poluição do ar.

“A Incineração (FIG. 3) é um método de tratamento recomendado para resíduos perigosos que não podem ser reciclados, reduzidos ou dispostos de maneira segura em um aterro. É um processo de oxidação térmica, no qual os resíduos perigosos são convertidos através do oxigênio presente no ar, em gases e resíduos sólidos incombustíveis. Portanto, este método de tratamento incorpora processos tais como redução de volume e massa, detoxificação, inertização do resíduo e recuperação de energia” (VISVANATHAN, 1996 citado por Oliveira, 2003).



Figura 3: Incineração do óleo

pesado que é resíduo do

Petróleo.

FONTE: JORNALBLOG A LUTA

É uma técnica apropriada para a queima do óleo recuperado que não pode ser utilizado no

re-refino, assim como para os materiais absorventes quando existentes em grande quantidade.

Incineradores móveis são aqueles adaptados para serem deslocados até as frentes de trabalho. O incinerador móvel instalado em campo é mais apropriado para os resíduos contendo entulhos e vegetação. Para a queima dos resíduos classificados como perigosos, os incineradores devem ser projetados e operados de modo a atender ao disposto na Norma ABNT NBR 11.175 - INCINERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS PERIGOSOS - Padrões de desempenho, a qual fixa as condições exigíveis de desempenho do equipamento para incineração de resíduos perigosos, exceto aqueles assim classificados apenas por patogenidade ou inflamabilidade.

Conforme Oliveira (2003), o processo de incineração de resíduos perigosos requer cuidados especiais para evitar a liberação de gases tóxicos para a atmosfera, necessitando da instalação de sofisticados equipamentos de limpeza de gases, tornando o processo ainda mais oneroso. Portanto, do ponto de vista técnico e, principalmente econômico, recomenda-se que aqueles resíduos que não podem ser tratados de maneira segura por outros métodos, sejam incinerados.

#### **4 CO-PROCESSAMENTO**

Também entendido como co-incineração, no qual resíduos perigosos podem ser incinerados em instalações individuais ou industriais, tais como fornos de cimento e cal, caldeiras industriais e de alto forno (OLIVEIRA, 2003).

Os fornos de cimento e cal, devido às altas temperaturas (1.400°C ou mais), ao grande tempo de residência dos gases e da alcalinidade do material (produto), são excelentes equipamentos para destruição de resíduos perigosos, particularmente os orgânicos halogenados. No entanto, nem todos os resíduos incineráveis são passíveis de serem processados em fornos de cimento. Os mais usuais são os líquidos com alto poder calorífico e baixo teor de água, sólidos e metais.

A queima de resíduos industriais em fornos de cimenteiras é limitada tanto em função das emissões de poluentes para atmosfera, quanto em decorrência da manutenção das características técnicas do cimento produzido, impondo assim sérias limitações em relação aos resíduos aceitos para serem co-processados. Muitos resíduos não têm sido aprovados para serem tratados por este processo, dentre eles os que contêm compostos, tais como: dioxinas, organoclorados, precursores ou formadores de policlorados bifenilas (PCBs), explosivos, radioativos, hospitalares, agrotóxicos, pesticidas, resíduos com altos teores de cloro, enxofre e metais pesados (MENEZES et al., 2000 citado por OLIVEIRA, 2003).

Assim, entende-se por co-processamento a utilização de um resíduo de um processo industrial em outro diferente do que lhe deu origem e de forma a substituir uma das matérias primas do processo ou a permitir a redução do consumo de combustível do processo através do aproveitamento energético do resíduo.

Não podem ser co-processados embalagens metálicas, lixo doméstico, vidro, pilhas e material radioativo.

#### **5 LANDFARMING**

Sistemas "Landfarming" (FIG. 4) são processos de tratamento de resíduos que, por meio de propriedades físicas e químicas do solo, e da intensa atividade microbiana existente neste meio, promovem a biodegradação, a detoxificação, a transformação e a imobilização dos constituintes dos resíduos tratados, minimizando os riscos de contaminação ambiental (ROCCA et al., 1993 citado por Oliveira, 2003). Este sistema consiste em um método de tratamento onde o componente orgânico de um resíduo é degradado biologicamente na camada superior do solo (15-20 cm), sendo necessário o fornecimento adequado de oxigênio e nutrientes para os microrganismos aeróbios.

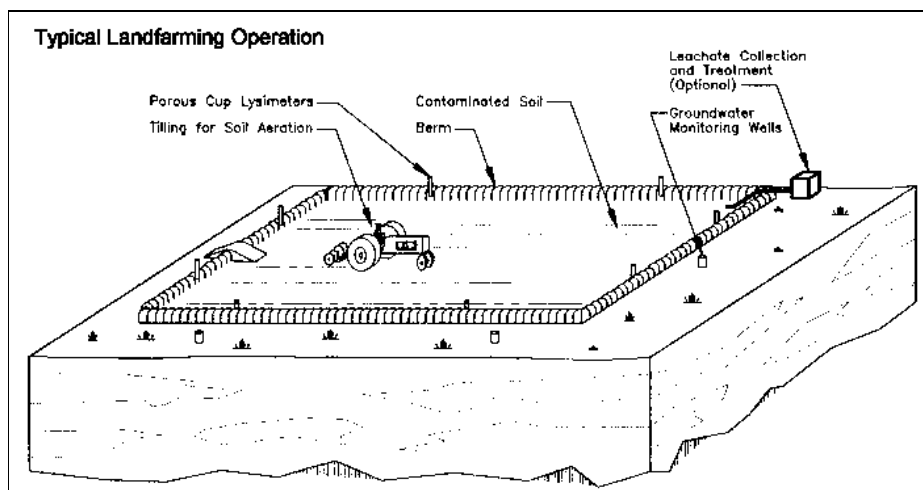


Figura 4: Processo de Landfarming

FONTE: <<http://www.miliarium.com/Socios/NoSociosFirstGate.asp>>.

Quando os resíduos são adicionados ao solo, acontecem os seguintes processos: degradação biológica, incorporação na matriz do solo, volatilização, percolação e lixiviação superficial. Os resíduos são misturados ao solo e submetidos a uma biorremediação *in situ* (bioestimulação).

O processo baseia-se, principalmente, na aração do solo, para renovação do oxigênio, e na manutenção de um determinado teor de nutrientes e de microrganismos aeróbios na terra.

Além disso, muitos processos bioquímicos acontecem no "landfarming", resultando na conversão de carbono a dióxido de carbono. O carbono remanescente é incorporado à massa celular e fixado ao solo como matéria orgânica natural melhorando assim a sua estrutura e fertilização. Com relação às substâncias não biodegradáveis tais como metais pesados, sais e areia, o "landfarming" age apenas como acumulador. Nesse caso, se a célula vier a ficar saturada dessas substâncias, deve-se raspar a camada reativa (15-20 cm) e enviá-la para um aterro industrial (AMARAL, 1986 citado por Oliveira, 2003).

É uma técnica em que o resíduo oleoso é incorporado ao solo, sob condições controladas, para promover a degradação e imobilização dos contaminantes perigosos presentes. Tipicamente o resíduo é aplicado à superfície de uma área e misturado com o solo por meio de equipamentos convencionais, como tratores equipados com arados e/ou grades.

Esta técnica é apropriada para dispor óleo não passível de recuperação como materiais absorventes impregnados (palha, serragem e turfa), e as emulsões água em óleo. Não se recomenda esta técnica para a areia retirada das praias porque a incorporação ao solo não permite seu reaproveitamento e também porque a adição de grandes quantidades de areia reduz a eficiência do landfarming, alterando suas características físicas, químicas e biológicas.

Em curto prazo, os resíduos mantêm-se na superfície, o que possibilita correções de qualquer problema constatado; Já a longo prazo a manutenção é pequena, uma vez que os compostos orgânicos devem ser biodegradáveis e o acúmulo de metais se restringe à superfície; Muitos resíduos são passíveis de serem tratados a relativo baixos custos de implantação e operação, inclusive resíduos perigosos.

Para o projeto e operação desta forma de tratamento deve-se observar o estabelecido na norma ABNT NBR 13.894 - TRATAMENTO NO SOLO (landfarming).

Alguns requisitos são necessários para a implantação deste sistema: análise do terreno a fim de se determinar as camadas e o nível de permeabilidade do solo; o nível do lençol subterrâneo; análises de pH, umidade e concentração de microrganismos; teor de nutrientes e capacidade de troca iônica.



A desvantagem desta técnica é que o processo é lento e incompleto, além disso, ocorre acúmulo gradual de metais pesados no solo de landfarming impedindo seu uso posterior como fertilizante.

## **6 COMPOSTAGEM**

Processo utilizado para a disposição e degradação de resíduos oleosos (borra) resultantes de operações de refino de petróleo. Os resíduos são misturados ao solo e submetidos a uma biorremediação *in situ* (bioestimulação).

A compostagem como tratamento para resíduos da indústria petrolífera passou a ser visto como uma alternativa interessante para unidades de produção localizadas em locais distantes dos centros de tratamento, onde o custo com o transporte dos resíduos era considerado proibitivo.

A compostagem apresenta várias vantagens: o tratamento pode ser feito no próprio local de geração, evitando assim o custo de transporte; os hidrocarbonetos contidos nos resíduos são destruídos, eliminando a responsabilidade a longo tempo; requer uma menor área que o tratamento de landfarming; oferece um material estabilizado que pode ser usado no melhoramento do solo, evitando a acumulação de material tratado.

Entretanto, algumas desvantagens estão ligadas à este processo, entre as quais estão: a limitação quanto ao teor de óleos e graxas (< 25%); a necessidade de incorporar às massas de resíduos agentes expansores de volume, visto que os lodos de refinaria são tipicamente viscosos e impedem a passagem do ar em sua massa; adição de nutrientes a fim de garantir condições adequadas para o desenvolvimento da atividade microbiana aeróbia (OLIVEIRA, 2003).

Esta tecnologia mostra-se mais adequada em pequenas unidades de produção.

## **7 REATORES BIOLÓGICOS**

Na condução de bioprocessos, a utilização de biorreatores vem ao encontro da necessidade da manutenção das condições ótimas para a degradação de resíduos complexos, em intervalos de tempo cada vez mais reduzidos (OLIVEIRA, 2003).

Este tipo de tratamento é uma tecnologia viável, e que quando operada adequadamente, pode satisfazer os limites de concentração fixados pela EPA para estes contaminantes.

Reatores comuns que adaptados para o tratamento de solo ou água contendo altos níveis de contaminantes podem ser operados em série e de forma aeróbica ou anaeróbica.

Basicamente, o solo contaminado é misturado com água e introduzido no reator, que é previamente preenchido com carvão, plástico, esferas de vidro ou terra diatomácea que permitem a obtenção de grande área superficial e a rápida formação do biofilme responsável pela biodegradação. O inóculo pode vir da própria população presente no ambiente contaminado; de lodos ativados ou de cultura pura de microrganismo apropriado.

## **8 INCORPORAÇÃO EM INDÚSTRIAS CERÂMICAS**

Segundo OLIVEIRA (2003), o emprego de resíduos oleosos em cerâmicas vermelhas (estruturais) vem sendo estudado sob a ótica mais moderna de reciclagem e reaproveitamento de resíduos ao invés da disposição no solo.

O uso desta técnica promove uma redução na quantidade de resíduos a serem dispostos e por outro lado constitui-se em uma fonte alternativa de matéria-prima de baixo custo para a indústria cerâmica. Contudo, tais processos devem vir sempre acompanhados de uma avaliação ambiental devido a possíveis impactos provenientes tanto da produção como da

utilização deste material.

A adição de resíduos oleosos na indústria cerâmica pode levar a incrementos de emissão de poluentes nas fases de secagem e queima (AMARAL E DOMINGUES, 1990 citado por OLIVEIRA, 2003).

## 9 ATERROS

Constitui-se uma técnica de disposição de resíduos industriais perigosos no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho ou a intervalos menores, se necessário (NBR 842, 1983 citado por OLIVEIRA, 2003).

Neste tipo de tratamento faz-se necessária a preocupação com a periculosidade do resíduo. Sendo assim, algumas precauções são necessárias: cobertura da célula do aterro com uma camada de material impermeável (redução de infiltração da água da chuva); drenagem de águas superficiais; impermeabilização do fundo do aterro (isolamento do contato dos resíduos com as águas subterrâneas); coleta e tratamento do percolado.

Aterros para recebimento de resíduos devem apresentar impermeabilização inferior e superior, sistema de drenagem de líquidos percolados e drenagem superficial além de operação e monitoramentos adequados.

A disposição de areias e outros materiais contaminados com óleo poderá ser tolerada em situações emergenciais, desde que não comprometa a operação normal e a vida útil do aterro, isto é, desde que apresente teor de óleos e graxas inferior a 5%. A disposição em aterros sanitários e industriais de resíduos com teores de óleos superiores a 5% não é considerada uma técnica apropriada para a sua destinação devido às características físico-químicas dos resíduos oleosos. Além disso não podem ser recebidos em aterros resíduos contendo líquidos livres conforme definido pelo norma ABNT NBR 12.988 - LÍQUIDOS LIVRES - VERIFICAÇÃO EM AMOSTRA DE RESÍDUO, a qual estabelece o método utilizado para determinar a presença de líquidos livres em uma amostra representativa de resíduos, obtida de acordo com a NBR 10.007 - AMOSTRAGEM DE RESÍDUOS- Procedimentos.



Figura 5: Aterro de pneus.

## 10 LAVAGEM DA AREIA CONTAMINADA

A técnica de lavagem de areia contaminada por óleo pode ter sua eficiência melhorada significativamente, através da utilização de surfactantes, utilizados para romper a tensão superficial do óleo, fazendo com que o mesmo fique em solução na forma coloidal. Existem duas formas de aplicação desta técnica, no próprio local (in situ) ou em reatores. A forma in situ não é muito aplicada, devido à introdução de mais um contaminante no ambiente, como também pela dificuldade de estabelecer condições operacionais seguras. A aplicação desta técnica em reatores como betoneiras, para limpeza da areia retirada das praias contaminadas, tem apresentado resultados satisfatórios em ensaios realizados no atendimento a algumas ocorrências. Nestes ensaios, o resíduo foi misturado à uma solução contendo 0,5% de surfactante sendo então submetido a agitação. A vantagem desta aplicação é que permite um controle total do processo, minimiza a poluição e em alguns casos tem alcançado mais de 90% de remoção do óleo. A desvantagem é que gera um efluente que necessitará tratamento adicional, preferencialmente em estações de tratamento especialmente projetadas para este tipo de efluente.

## 11 SOLIDIFICAÇÃO/ESTABILIZAÇÃO

Consiste em um pré tratamento através do qual os constituintes perigosos de um resíduo, como a areia contaminada, são transformados e mantidos nas suas formas menos solúveis ou menos tóxicas. O objetivo é melhorar as características físicas e de manuseio, diminuir a área superficial através da qual possa ocorrer perda de poluentes e limitar a solubilidade de quaisquer constituintes perigosos contidos no resíduo.

“Nesta tecnologia, os resíduos tóxicos são misturados com materiais que tendem a criar uma matriz sólida altamente impermeável, dessa forma capturando ou fixando os resíduos dentro desta estrutura. Os mecanismos deste processo de captura ou fixação podem ser físicos ou químicos ou físico-químicos” (VISVANATHAN, 1996 citado por OLIVEIRA, 2003).

Na aplicação da tecnologia de Solidificação/Estabilização vários agentes podem ser utilizados: cal, cimento, polímeros orgânicos, materiais termoplásticos, materiais absorventes, materiais cerâmicos, além do processo de vitrificação (OLIVEIRA, 2003).

Estes processos, sob o aspecto de custo/benefício, podem ser competitivos em relação aos processos convencionais de destinação final de resíduos oleosos, tais como a incineração e o landfarming.

Conforme BRAGA *et al* (2), a técnica de solidificação/estabilização, ou encapsulamento, é um processo conhecido de tratamento de resíduos industriais a partir do qual procura-se fixar em uma matriz os contaminantes presentes no resíduo, visando transformá-los em materiais com melhores características de manuseio, transporte e destinação final.

Conforme VALVERDE, a técnica do encapsulamento é um estágio de pré-tratamento pelo qual os constituintes perigosos de um resíduo são transformados e mantidos em suas formas menos solúveis ou tóxicas. Tais transformações ocorrem via reações químicas que fixam elementos, ou compostos tóxicos, em polímeros impermeáveis ou cristais estáveis, chamados adsorventes ou encapsulantes. Assim estabilizados, ficam menos agressivos ao meio ambiente e podem ser confinados em aterros industriais.

Os processos de encapsulamento constituem-se como alternativa às técnicas convencionais de tratamento/disposição final de resíduos oleosos (incineração, landfarming e aterros).

A capacidade de adsorção, presente naturalmente em alguns tipos de argila, pode ser bastante melhorada por modificações “químicas bastante simples”, baseadas na capacidade de troca iônica dessas argilas ou solos. Uma “pequena” modificação química provoca o deslocamento de íons trocáveis, resultando tal deslocamento em aumento substancial das propriedades da adsorção para solutos orgânicos não-iônicos. No mercado, a argila assim modificada é apresentada com o nome genérico de CAM – iniciais de “complexo argilo-mineral” (VALVERDE).

O aumento da fase orgânica ocorre pela troca de cátions presentes na estrutura da argila por cátions orgânicos, “que passam a atuar como um poderoso meio de adsorção, com capacidade para adsorver dez a 30 vezes mais do que a matéria orgânica natural do solo”. Além de possibilitar tratamento de resíduos sólidos antes de sua disposição em aterros, as argilas modificadas também podem ser usadas para melhorar a capacidade de contenção de solos pobres em matéria orgânica, proteção de aquíferos e também para aumentar a capacidade de contenção de camadas impermeabilizantes em aterros.

As características do resíduo, incluindo conteúdos orgânico e inorgânico, viscosidade e tamanho e distribuição das partículas, podem afetar a compatibilidade entre o encapsulante ou adsorvente e o resíduo. A principal preocupação técnica refere-se aos processos de migração de contaminantes do resíduo encapsulado para o meio circulante. “Diversos estudos demonstram que os principais fatores que afetam a lixiviabilidade são a alcalinidade do produto estabilizado, a proporção entre a superfície e o volume do resíduo e as rotas de difusão”. Os testes de lixiviação obedecem a “diferentes propósitos e podem ser realizados como testes regulatórios para fornecer a base de um processo de decisão consistente e uniforme” (VALVERDE).

Ainda segundo VALVERDE, a Cetrel revela que a entidade ambiental dos Estados Unidos, a EPA, considera que os resíduos perigosos produzidos em grandes quantidades são os mais adequados para tratamento pela tecnologia de encapsulamento.

Alguns tipos de resíduos legalmente não-perigosos também são viáveis de encapsulamento em busca de manuseio mais adequado ou menor probabilidade de perda e vazamento de constituintes indesejáveis, capazes de contaminar o lençol freático

A tecnologia de solidificação/estabilização vem se tornando uma importante alternativa de tratamento face às cada vez mais restritas normas para disposição de resíduos perigosos em aterro, pois provê o melhoramento das características físicas e toxicológicas do resíduo, facilitando o seu gerenciamento de forma segura e eficaz. Além disso, o custo do processo de solidificação/estabilização tem sido considerado baixo em relação a outras técnicas de tratamento, fator este que tem impulsionado o desenvolvimento desta tecnologia nos últimos anos.

### **11.1 Objetivos do Encapsulamento**

O encapsulamento tem por objetivos:

- melhorar as características físicas e de manuseio de um resíduo;
- diminuir a superfície de exposição, através da qual possa ocorrer perda ou transferência de contaminantes;
- limitar a solubilidade ou destoxificar qualquer constituinte presente ao resíduo;
- minimizar a taxa de migração de contaminantes para o meio ambiente;
- reduzir o nível de toxicidade (WILES, 1987 citado por BRAGA *et al*).

### **11.2 Solidificação**

Termo referente ao processo que encapsula um resíduo na forma de um material sólido e restringe a migração de seus contaminantes através da diminuição da área superficial exposta ao processo de lixiviação e solubilização, e/ou reveste os resíduos com materiais de baixa permeabilidade. A solidificação pode ser acompanhada por uma reação química entre o resíduo e o ligante (solidificante) ou por processos mecânicos (EPA, 2000).

- Fixação Química e Solidificação

Usada para destoxificar, imobilizar, insolubilizar ou qualquer outra maneira de tornar um componente menos perigoso antes de ser disposto no ambiente. Demanda uma reação química entre um ou mais componentes do resíduo e uma matriz sólida introduzida ou não.

Um processo de fixação ideal torna os constituintes nocivos quimicamente não reativos ou estáveis, de forma a se obter uma disposição final segura, sem qualquer contenção secundária.

Segundo o Site <<http://www.eq.ufrj.br/graduacao/aulas/eqb481/solidificacao.pdf>>, as tecnologias desenvolvidas e aplicadas são desenvolvidas baseadas em:

- Cimento

Adição de cimento Portland ou outros produtos inorgânicos semelhantes. Devido ao pH obtido na mistura, diversos cátions são convertidos em carbonatos e hidróxidos insolúveis.

- Materiais pozolânicos (não incluindo Cimento)

Cinzas, poeiras de forno de cimento ou escória de alto forno – produtos residuais com pequeno ou nenhum valor comercial.

- Termoplásticos

Os resíduos são secos, aquecidos e dispersos através de uma matriz plástica aquecida, mistura que normalmente está disposta em uma contenção secundária, como exemplo tambor de aço.

- Polímeros orgânicos

Resíduos secos ou úmidos são misturados com um pré-polímero. Adiciona-se um catalisador e vaza-se a mistura para um container. O material polimerizado não se combina quimicamente com o resíduo, mas forma uma massa esponjosa que captura as partículas sólidas.

- Técnicas de encapsulamento

Encapsulamento propriamente dito, no qual os resíduos são inicialmente aglomerados e, a seguir, envoltos por uma camisa de material inerte (em geral o polietileno).

- Técnicas de auto-solidificação (cal)

Resíduos industriais proveniente da dessulfurização ou os lodos de limpeza de exaustão. Estes resíduos contêm grandes quantidades de sulfato ou sulfeto de cálcio. Resíduo é parcialmente desidratado e hidratado novamente para a formação de uma agamassa

### 11.3 Estabilização

Termo referente ao processo que envolve reações químicas que reduzem a lixiviabilidade de um resíduo. A estabilização química imobiliza materiais perigosos ou reduz a solubilidade deles através de uma reação química (EPA, 2000).

#### Exigências para uma Solidificação/Estabilização

Testes de estabilidade dos resíduos encapsulados Um processo de fixação ideal torna os constituintes nocivos quimicamente não reativos ou estáveis, de forma a se obter uma disposição final segura, sem qualquer contenção secundária. Para ser completamente eficaz, o processo de tratamento deve gerar um produto final com boa estabilidade dimensional, resistência às intempéries, ao ataque de agentes biológicos e elevada capacidade de suporte. NBR 10.004, 10.005, 10.006

Compatibilidade dos Resíduos e Aditivos Como em qualquer operação de manuseio de resíduos perigosos, devem ser tomados cuidados durante os processos de estabilização/solidificação, evitando a mistura de materiais que possam reagir entre si de forma danosa.

## 12 AÇÃO DOS MICRORGANISMOS

A tecnologia da biorremediação é baseada em processos nos quais ocorrem reações bioquímicas mediadas por microrganismos. Em geral, um composto orgânico quando é oxidado perde elétrons para um aceptor final de elétrons, que é reduzido (ganha elétrons). O oxigênio comumente atua como aceptor final de elétrons quando presente e o processo da oxidação de compostos orgânicos com a redução do oxigênio molecular é chamado de respiração aeróbia heterotrófica. No entanto, quando o oxigênio não está presente, microrganismos podem usar compostos orgânicos ou íons inorgânicos como aceptores finais de elétrons alternativos, condições estas chamadas de anaeróbias. A biodegradação anaeróbia pode ocorrer pela desnitrificação, redução do ferro, redução do sulfato ou condições metanogênicas (CORDAZZO, 2000 citado por Mariano, 2006).

Os principais mecanismos de biotransformação de contaminantes orgânicos em água subterrânea são efetuados nos biofilmes, que são bactérias e polímeros extracelulares aderidos à subsuperfície e que obtêm energia e nutrientes durante o fluxo da água subterrânea (BITTON e GERBA, 1984).

A estrutura química dos poluentes orgânicos tem uma profunda influência na habilidade dos microrganismos metabolizarem estas moléculas, especialmente com respeito às taxas e extensão da biodegradação. Alguns compostos orgânicos são rapidamente biodegradados enquanto outros são recalcitrantes (não biodegradáveis). Compostos xenobióticos (compostos químicos fabricados pelo homem), especialmente hidrocarbonetos halogenados, tendem a ser resistentes à biodegradação.

Biotransformação consiste de alterações na estrutura molecular de compostos mediada por via biológica. Pode aumentar ou diminuir a complexidade química e resultar na conversão de um composto inócuo em um tóxico ou transformar um composto biodegradável em recalcitrante.

## 12.1 Biodegradação

Biodegradação é um processo natural onde compostos químicos são degradados por via biológica. Comunidades microbianas em ambientes naturais são formadas por diferentes microrganismos altamente interdependentes.

As bases microbiológicas da biodegradação consistem nas comunidades microbianas interdependentes em ambiente natural. Geralmente são entendidas como:

- Comensalismo: Associação interativa de duas populações de diferentes espécies que vivem em conjunto sendo que uma população se beneficia da associação e a outra não é afetada.
- Mutualismo: é uma simbiose, ou seja, ambas as populações associadas se beneficiam.

Uma comunidade microbiana é resistente a produtos tóxicos resultantes da biodegradação, devido à capacidade de um de seus indivíduos realizar detoxificação.

Além da resistência, outra característica importante destas comunidades é o dinamismo, uma vez que respondem às condições ambientais e utilizam nutrientes de maneira efetiva. Podem degradar e/ou transformar compostos.

O destino de um composto orgânico introduzido no solo é determinado por fatores físicos (volatilização ou adsorção), químicos (degradação fotoquímica, oxidação e hidrólise) e biológicos (biodegradação microbiana).

O direcionamento atual é o uso de processos biológicos para a remoção de compostos tóxicos do ambiente

Fatores físicos que influenciam a biodegradabilidade:

- natureza da matriz (água, solo, sedimento): adsorção e disponibilidade

- temperatura: reduz atividade metabólica do microrganismo, reduzindo sua taxa de degradação
- luz

Fatores químicos que influenciam a biodegradabilidade:

- composição química da matriz ambiental (define capacidade nutritiva)
- pH
- umidade
- oxigênio dissolvido
- potencial redox
- estrutura química do poluente.

- Biodegradação de Xenobióticos

Os microorganismos são capazes de utilizar uma grande variedade de substâncias orgânicas naturais ou sintéticas como fonte de nutrientes e energia. Sua capacidade de degradação tem sido posta a prova com a introdução de compostos não reconhecidos por enzimas existentes (Xenobióticos) na natureza.

Os compostos Xenobióticos possuem estruturas químicas novas e sua degradação é influenciada por alguns fatores biológicos:

- Biodegradação gratuita: quando uma enzima é capaz de transformar outras moléculas além de seu substrato natural. A enzima exerce sua atividade catalítica se o substrato não-natural for capaz de se ligar no sítio ativo.
- Co-metabolismo: transformação de um composto sem que este forneça carbono ou energia para o organismo degradador. O microrganismo necessita de substrato verdadeiro para crescer, mas consegue degradar ou transformar um composto presente no ambiente. A comunidade microbiana envolvida na degradação de compostos xenobióticos pode ser dividida em dois grupos: os microrganismos primários (metabolizadores do substrato principal) e os secundários (metabolizadores dos produtos liberados do primeiro metabolismo).

Na degradação de xenobióticos o sistema biológico é o mais eficiente, porém muitos fatores ambientais influenciam a capacidade de um sistema microbiano em biodegradar uma molécula.

## 12.2 Biorremediação

Biorremediação é o processo tecnológico no qual organismos vivos são utilizados para remover ou reduzir (remediar) contaminantes no ambiente. Intervenção humana que visa acelerar os processos microbianos naturais de degradação de poluentes ambientais.

As técnicas de remediação da zona não saturada e da saturada podem ser realizadas “*ex situ*”, ou seja, através da retirada do material contaminado para posterior tratamento ou “*in situ*”, quando o material não é retirado.

Os processos biológicos, quando comparados aos processos físico-químicos, geralmente são mais seguros e de custo mais baixo. O aumento de pesquisas com esse tema está relacionado também com o fato de o tratamento biológico ser menos agressivo ao meio ambiente, já que muitas vezes baseia-se apenas na otimização do processo naturalmente executado pela flora microbiana. O processo biológico de remediação de solos e águas é conhecido como Biorremediação (MENEZES).

No âmbito da Biorremediação, uma das aplicações que tem se mostrado mais evidenciada, é a relacionada ao tratamento de solos contaminados por petróleo e seus derivados. Os hidrocarbonetos de petróleo têm uma origem natural, de modo que, conseqüentemente, muitos microrganismos têm uma habilidade natural de degradá-los (MENEZES).

A biorremediação é aplicada em situações como: acidentes com derramamento de petróleo; tratamento de resíduos; remoção e ou recuperação de metais pesados; e degradação de compostos químicos.

A seleção de tecnologias a serem utilizadas baseia-se fundamentalmente no conhecimento das características físico-químicas do contaminante, volume vazado, tempo de vazamento, caracterização geológica e hidrogeológica do local, análise do meio físico superficial e subterrâneo e extensão da pluma contaminante (SPILBORGH, 1997 citado por MARIANO, 2006).

### 12.2.1 Biorremediação *in situ*

Utiliza a microflora original presente no ambiente, partindo da idéia de que os microrganismos presentes já estão adaptados aos contaminantes existentes. Oferece vantagens por ser mais barata que incineração, não expõe trabalhadores aos riscos associados a escavação e remoção do solo contaminado e é adequada para tratamento de grandes áreas.

Os produtos finais de uma biorremediação efetiva são água e gás carbônico, que não apresentam toxicidade e podem ser incorporados ao ambiente sem prejuízo aos organismos vivos.

A biorremediação *in situ* pode ser realizada através de três processos: biorremediação intrínseca, bioestimulação e bioaumento:

- Intrínseca

Pode também ser chamada de remediação natural, e baseia-se nos processos naturais de atenuação para remover ou conter os contaminantes dissolvidos na água.

A remediação natural não é uma alternativa de “nenhuma ação de tratamento”, mas uma forma de minimizar os riscos para a saúde humana e para o meio ambiente, monitorando-se o deslocamento da pluma e assegurando-se de que os pontos receptores (poços de abastecimento de água, rios, lagos) não serão contaminados (CORSEUIL e MARINS, 1998 citado por MARIANO, 2006).

Após a contaminação do lençol freático, os contaminantes se dispersarão em movimentos que podem ser atenuados por processos de diluição, dispersão, adsorção, volatilização e biodegradação. O processo que envolve as reações químicas promovidas por microrganismos é chamado de biorremediação intrínseca ou natural, cujo conceito básico é o uso da capacidade de microrganismos autóctones em degradar contaminantes que tenham sido derramados em subsuperfície sem qualquer interferência de tecnologias ativas de remediação (BORDEN et al., 1995 citado por MARIANO, 2006).

A taxa de biodegradação depende das condições hidrogeológicas do local contaminado, assim, sua velocidade de transformação está altamente relacionada com o deslocamento dos contaminantes.

A remediação natural necessita de uma pré-avaliação da área contaminada, determinando-se a característica hidrogeológica, o tamanho da área contaminada e risco de migração dos contaminantes.

O monitoramento da biorremediação intrínseca é baseado em um acompanhamento da evolução temporal e espacial da concentração de indicadores geoquímicos na água subterrânea. A diminuição da concentração de oxigênio dissolvido (OD) na água e um aumento da concentração de dióxido de carbono são indicativos de um processo aeróbio de biodegradação, enquanto que a produção de íons Fe<sup>2+</sup> ou diminuição de íons nitrato indicam a presença de processos anaeróbios. (MARIANO, 2006).

- Biodegradação aeróbia





o processo de degradação ocorra. Assim, essa técnica tem como objetivo acelerar ou estimular a biodegradação através da intensificação do crescimento microbiano tanto quanto também pela otimização do ambiente em questão (MARIANO, 2006).

O bioaumento, quando bem utilizado, pode acelerar a biodegradação do Contaminante. Entretanto, necessita-se da aprovação do produto biotecnológico, pelo órgão ambiental, sendo caracterizado e testado em sua toxicidade e ecotoxicidade, bem como comprovada a sua eficiência e inocuidade ao ambiente.

A Resolução Conama 314 de 2002 disciplina o registro de produtos com a finalidade de biorremediar solos afetados por vazamentos de petróleo e seus derivados.

Outro ponto que deve ser levado em consideração é o fato de que os microrganismos aplicados devem atuar em sinergismo com as espécies autóctones, sem interferir nos processos biogeoquímicos naturais.

A utilização de produtos biotecnológicos não deve ser interpretada como a solução de todos os problemas de poluição, sendo que os processos convencionais, como os já estabelecidos, devem ser os mais utilizados quando o contaminante é degradável e não tóxico.

#### 12.2.2 Biorremediação ex situ

- Compostagem
- Landfarming
- Reatores above-ground

### 13 LEGISLAÇÃO

Segundo a dissertação “**Aplicação da Técnica de Solidificação/Estabilização para Resíduos Oleosos da Indústria Petrolífera, Utilizando Solo Argiloso e Bentonita**”, Disponível em: <<http://www.tede.ufsc.br/teses/PGEA0154.pdf>>, algumas leis específicas se destacam em relação aos resíduos industriais:

- Lei 6803/80, que dispõe sobre as diretrizes básicas para o zoneamento industrial em áreas críticas de poluição;
- Lei 6.938/81, que trata da Política Nacional do Meio Ambiente; e mais recentemente a,
- Lei 9.605/98 que dispõe sobre sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente.

Esta lei possibilitou a criminalização de pessoas jurídicas e transformou as contravenções penais em crimes, com penas de detenção ou reclusão variando de 03 (três) meses a 05 (cinco) anos, não excluindo as condições agravantes que podem aumentar algumas penas, além da possibilidade de multa para os casos de crime contra a fauna.

Entre as Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), destacam-se:

- CONAMA 006/88 que dispõe sobre o licenciamento de obras de resíduos industriais perigosos;
- CONAMA 007/94 que adota definições e proíbe a importação de resíduos perigosos classe I em todo o território nacional, sob qualquer forma e para qualquer fim inclusive reciclagem;

- CONAMA 019/94 autoriza, em caráter de excepcionalidade, a exportação de resíduos perigosos contendo Bifenilas Policloradas (PCBs);
- CONAMA 023/96 regula a importação e uso de resíduos perigosos;
- CONAMA 228/97 que dispõe sobre a importação de desperdícios e resíduos de acumuladores elétricos de chumbo;
- CONAMA 264/00 estabelece diretrizes para o licenciamento de fornos rotativos de produção de clínquer para as atividades de co-processamento de resíduos;
- CONAMA 313/02 dispõe sobre o inventário nacional de resíduos sólidos industriais;
- CONAMA 316/02 dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos;
- CONAMA 330/03 institui a câmara técnica de saúde, saneamento ambiental e gestão de resíduos;

Um conjunto de Normas Técnicas elaboradas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), também regula as atividades envolvendo resíduos sólidos industriais:

- NBR 10.004 – Classificação de Resíduos;
- NBR 10.005 – Lixiviação de Resíduos;
- NBR 10.006 – Solubilização de Resíduos;
- NBR 10.007 – Amostragem de Resíduos;
- NBR 12.235 – Armazenagem de Resíduos Sólidos Perigosos;
- NBR 11.175 – Incineração de Resíduos Sólidos Perigosos – Padrões de Desempenho;
- NBR 8.418 – Apresentação de Projetos de Aterros de Resíduos Industriais Perigosos;
- NBR 13.896 – Aterros de Resíduos Não Perigosos – Critérios para Projetos, Implantação e Operação;
- NBR 10.157 – Aterros de Resíduos Perigosos – Critérios para Projetos, Implantação e operação;

Além dessas Leis e Normas, cada Agência Estadual de Controle Ambiental possui, de acordo com a política do Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA), a função normativa, o que lhes permite a regulamentação própria, complementando as Normas e Leis Federais (OLIVEIRA, 2003).

### **Conclusões e recomendações**

Existem vários pontos de liberações naturais de petróleo, mas todos de baixo volume. Os resíduos formados pelas Indústrias Petrolíferas, além dos vazamentos abruptos e maciços deste produto, acabam por contaminar o Ambiente. Eventualmente o ambiente se recupera, através da evaporação e biodegradação do óleo por micro-organismos, pela emulsificação (mistura com a água) e pelo depósito em sedimentos do fundo. A recuperação dos rios é muito mais lenta e os danos são maiores, pois a velocidade da água é menor, não existem ondas, e pelo fato da área ribeirinha ter um perfil menos irregular que as zonas costeiras marítimas. Além disso, a contaminação do rio acaba por ser levada ao mar, não ocorrendo no sentido oposto. Assim, este dossiê técnico teve por objetivo caracterizar algumas maneiras de destinar os resíduos de óleo gerados.

## Referências

BRAGA, F.S. *et al.* (1); **Caracterização Ambiental dos Resíduos Oleosos Provenientes das Atividades de Exploração & Produção de Óleo e Gás no Norte do Estado do Espírito Santo**. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/sibesa6/cxxviii.pdf>>. Acesso em: 13 dez. 2007.

BRAGA, F.S. *et al.* (2); **ENCAPSULAMENTO: UMA ALTERNATIVA PARA O TRATAMENTO E DESTINAÇÃO FINAL DE RESÍDUOS OLEOSOS – UM ENFOQUE AMBIENTAL (ESTUDOS PRELIMINARES)**. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/sibesa6/cxxvii.pdf>>.

CASTRO, R.A.; **Otimização do Sistema de *Landfarming* da RPBC – Refinaria Presidente Bernardes**. Disponível em: <[http://www.portalbpg.org.br/PDPetro/3/trabalhos/IBP0188\\_05.pdf](http://www.portalbpg.org.br/PDPetro/3/trabalhos/IBP0188_05.pdf)>. Acesso em: 13 dez. 2007.

CETESB. **Resíduos Oleosos**. Disponível em: <[http://www.cetesb.sp.gov.br/emergencia/acidentes/vazamento/acoes/residuos\\_tratamento.asp](http://www.cetesb.sp.gov.br/emergencia/acidentes/vazamento/acoes/residuos_tratamento.asp)>. Acesso em: 12 dez. 2007.

JORNALBLOG A LUTA. **Co-Incineração**. Disponível em: <<http://alutablog.blogs.sapo.pt/21222.html>>. Acesso em: 13 dez. 2007.

MARIANO, A.P.; **AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE BIORREMEDIAÇÃO DE SOLOS E DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS CONTAMINADOS COM ÓLEO DIESEL (2006)**. Disponível em: <[http://www.anp.gov.br/CapitalHumano/Arquivos/PRH05/Adriano-Pinto-Mariano\\_PRH05\\_UNESP\\_D.pdf](http://www.anp.gov.br/CapitalHumano/Arquivos/PRH05/Adriano-Pinto-Mariano_PRH05_UNESP_D.pdf)>. Acesso em: 13 dez. 2007.

MENEZES, M.P.; **Biorremediação ex-situ de solos contaminados por Petróleo com a adição de material estruturante**. Disponível em: <[http://www.cetem.gov.br/publicacao/serie\\_anais\\_XV\\_jic\\_2007/Michel\\_Menezes\\_Andrea\\_Rizzo.pdf](http://www.cetem.gov.br/publicacao/serie_anais_XV_jic_2007/Michel_Menezes_Andrea_Rizzo.pdf)>. Acesso em: 13 dez. 2007.

MICROBIOLOGIA AMBIENTAL: BIODEGRADAÇÃO E BIORREMEDIAÇÃO. Disponível em: <<http://qaonline.iqsc.usp.br:8180/FCKeditor/UserFiles/File/Campana/biorremediacao.pdf>>. Acesso em: 13 dez. 2007.

OLIVEIRA, D.M.; **Aplicação da Técnica de Solidificação/Estabilização para Resíduos Oleosos da Indústria Petrolífera, Utilizando Solo Argiloso e Bentonita (2003)**. Disponível em: <<http://www.tede.ufsc.br/teses/PGEA0154.pdf>>. Acesso em: 13 dez. 2007.  
SABER WEB. **Petróleo**. Disponível em: <<http://www.saberweb.com.br/quimica/petroleo.htm>>. Acesso em: 13 dez. 2007.

SILVA, S. **Prevenção Ambiental Tecnologias Limpas - Módulo 2**. Disponível em: <<http://www.sedes.com.br/cecap/cursos/apostila/ma/PrevAmbTecnII.pdf>>. Acesso em: 13 dez. 2007.

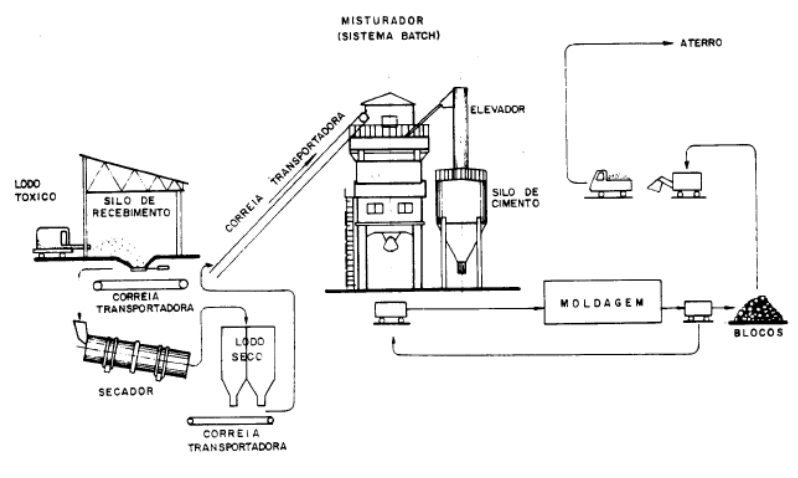
SOLIDIFICAÇÃO. Disponível em: >. <<http://www.eq.ufrj.br/graduacao/aulas/eqb481/solidificacao.pdf>>. Acesso em: 13 dez. 2007.

VALVERDE, J.; **Cetrel encapsula resíduos com argila modificada**. Disponível em: <<http://www.quimica.com.br/revista/qd391/atualidades2.htm>>. Acesso em: 13 dez. 2007.

YOUNG REPORTERS. **Valas de Borracha**. Disponível em: <[http://www.youngreporters.org/article.php3?id\\_article=1931](http://www.youngreporters.org/article.php3?id_article=1931)>. Acesso em: 13 dez. 2007.

## Anexos

### Anexo 1: Exemplo de uma instalação de solidificação de lodos perigosos



FONTE: SOLIDIFICAÇÃO

### Anexo 2: Exemplo de Biorremediação In-Situ

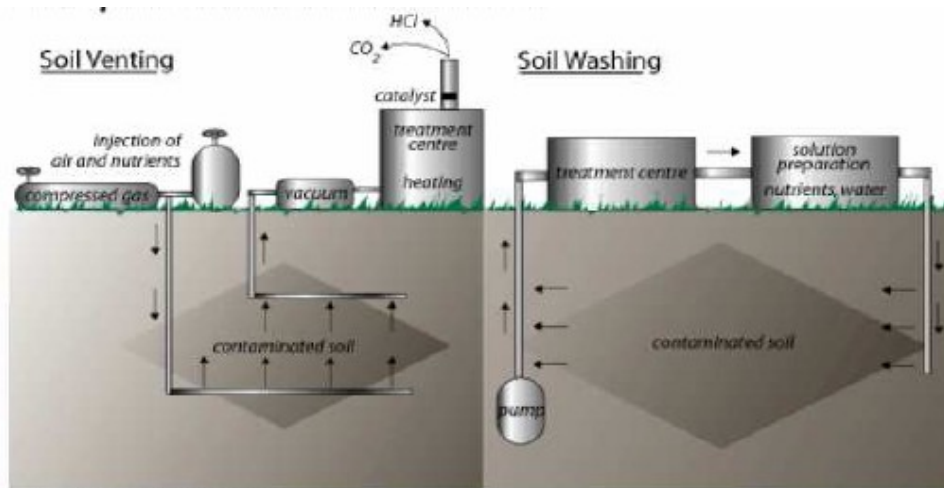


Figure 1. In-situ Bioremediation.

FONTE: MICROBIOLOGIA AMBIENTAL: BIODEGRADAÇÃO E BIORREMEDIAÇÃO

### Anexo 3: Tipos de resíduos associados, volume relativo e operação,

Material	Operação	% do Volume Total de Resíduos Associados
Resíduos de manutenção (lamas, fluidos de completção, óleos, produtos químicos, cimento, areias/detritos de fundo* e parafinas*)	Manutenção	34 %
Areia produzida*, borras de separadores*	Produção	21%
Outros resíduos fluidos de produção	Produção	14%
Entulhos oleosos, filtros, solos contaminados*	Todos	8%
Águas residuárias	Todos	8%
Resíduos de unidades de desidratação* (separadores água/óleo)	Produção	4%
Emulsões não tratadas	Produção	2%
Solventes usados	Manutenção	2%
Outros resíduos sólidos de produção*	Produção	1%
Óleos hidráulicos e de lubrificação usados	Todos	1%

FONTE: BRAGA, F.S. *et al.* (2)

#### Nome do técnico responsável

Karime Cruz França

#### Nome da Instituição do SBRT responsável

Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro - REDETEC

#### Data de finalização

10 Jan 2008.