

**PLANO DE EMERGÊNCIA A
DERRAMES DE HIDROCARBONETOS
E OUTRAS SUBSTÂNCIAS NOCIVAS
DO PORTO DO FORNO**

**ANEXO 24
DERRAMES DE HIDROCARBONETOS
EM TERRA**

ÍNDICE

1.	COMPORTAMENTO DOS DERRAMES EM TERRA	3
1.1.	HIDROCARBONETOS NO SOLO	3
1.2.	HIDROCARBONETOS NO SUBSOLO	4
1.2.1.	“SATURAÇÃO RESIDUAL”	5
1.2.2.	PENETRAÇÃO MÁXIMA	5
1.3.	HIDROCARBONETOS NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	6
1.4.	HIDROCARBONETOS DISSOLVIDOS NA CAMADA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA	11
2.	IDENTIFICAÇÃO DE UMA ZONA CONTAMINADA	12
2.1.	PRINCÍPIOS GERAIS	12
2.2.	OBSERVAÇÃO VISUAL	12
2.3.	PENETRAÇÃO VERTICAL	13
2.4.	HIDROCARBONETOS NA CAMADA DE ÁGUA DE UM AQUÍFERO	13
3.	ESTRATÉGIA DE LIMPEZA	14
3.1.	PESSOAL E TREINAMENTO	14
4.	MÉTODOS DE LIMPEZA PARA SUPERFÍCIES	15
4.1.	MÉTODOS DE CONTENÇÃO	15
4.2.	MÉTODOS DE REMOÇÃO	16
4.3.	ARMAZENAGEM TEMPORÁRIA DE HIDROCARBONETOS	16
4.4.	TRATAMENTO E ELIMINAÇÃO DE HIDROCARBONETOS	16
4.5.	MÉTODOS DE LIMPEZA PARA SOLOS	16
4.5.1.	TRATAMENTO <i>IN-SITU</i>	16
4.5.2.	REMOÇÃO DO SOLO	18
4.6.	LIMPEZA DE SUPERFÍCIES DIVERSAS	18
4.6.1.	VALAS	
4.6.2.	FUNDOS DE LAGOAS E RESERVATÓRIOS	18
4.6.3.	MARGENS DOS CURSOS DE ÁGUA	19
4.6.4.	EDIFÍCIOS	19
4.6.5.	ACESSÓRIOS PLÁSTICOS	19
4.6.6.	JARDINS	19
4.6.7.	CAMINHOS ALCATROADOS	20
4.6.8.	CARROS, VEÍCULOS UTILITÁRIOS, ETC.	20
4.6.9.	BOTES E ACESSÓRIOS	20
4.6.10.	ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS	20
5.	MÉTODOS DE LIMPEZA DO SUBSOLO	21
5.1.	DEGRADAÇÃO BIOLÓGICA DOS SUBSOLOS	21
5.2.	ESCAVAÇÃO DE SUBSOLOS	21
5.3.	TRATAMENTO DO SUBSOLO REMOVIDO	22
5.4.	LAVAGEM DE SUBSOLOS	22

1. COMPORTAMENTO DOS DERRAMES EM TERRA

1.1. HIDROCARBONETOS NO SOLO

Os hidrocarbonetos derramados no solo se espalham e penetram nas camadas superficiais, sendo o grau de penetração dependente do tipo e natureza do solo, do volume e tipo de hidrocarbonetos e do posicionamento da camada freática.

Os componentes voláteis evaporam provocando risco de explosão. A duração deste risco depende do tipo de produto, volume, temperatura ambiente, condições de vento e dimensões do espalhamento.

Quanto maior for a possibilidade dos hidrocarbonetos se espalharem menor a duração do risco de explosão, já que este espalhamento facilita a evaporação mais rápida dos elementos voláteis.

A mistura vapores/ar formada poderá estar numa das seguintes condições:

- Ter uma relação inferior à do Limite Inferior de Inflamabilidade, caso em que não exista perigo de explosão.
- Estar entre os Limites Inferior e Superior de Inflamabilidade, caso em que bastará uma fonte de ignição para que a explosão ou combustão aconteça.
- Ter uma relação superior à do Limite Superior de Inflamabilidade, caso em que não poderá existir perigo de explosão, mas em que a natural diluição da mistura na atmosfera acabará por situa-la no caso anterior e, portanto, em risco de explosão.

A utilização de um instrumento de medida adequado (explosímetro) é aconselhada para verificar as condições da mistura ar/vapores dos hidrocarbonetos

A utilização de equipamento não “explosion-proof”, tanto em espaços fechados como em espaços abertos, só deverá ser autorizada após a verificação das condições de segurança no que se refere à possibilidade de explosão/combustão da mistura.

Os hidrocarbonetos derramados penetram no solo numa camada de 10 a 20 cm, que geralmente fica saturada e cuja rugosidade é provocada pelas atividades agrícolas e pela atividade de pequenos animais (minhocas, etc.).

É possível uma penetração mais profunda no solo através de poças formadas em orifícios secos. Estes, quando se encontram cheios de água, não permitem a penetração dos hidrocarbonetos.

É importante lembrar que os produtos voláteis em espaços fechados, como é o caso de poços, cavidades, etc., podem originar explosões e problemas respiratórios em seres humanos que neles penetrem ou trabalhem.

A utilização de máscaras e aparelhos respiratórios é aconselhável nestes ambientes, até em espaços abertos.

1.2. HIDROCARBONETOS NO SUBSOLO

Os hidrocarbonetos penetram no subsolo e se movem para baixo por efeito da gravidade e da capilaridade.

Os hidrocarbonetos na sua movimentação deixam uma esteira de produto residual.

Normalmente a quantidade retida pelo solo é em torno dos 15 a 40 litros por m³, raramente excedendo os 50 lt/m³, o que apenas se verifica sob grandes edifícios ou áreas cimentadas ou quando existem rochas muito porosas.

Os elementos que condicionam a penetração dos hidrocarbonetos no solo são as características dos próprios hidrocarbonetos e as características do solo.

A maior penetração é obtida com óleos de baixa viscosidade e em terrenos de cascalho grosso.

Num solo homogêneo, sem estratificação ou sem variações significativas da distribuição de porosidades, a infiltração tem uma forma de pêra (ver Figura 1a), sendo o componente vertical devido à gravidade e o componente horizontal devido à capilaridade.

À medida que o terreno é menos permeável as forças da capilaridade originam um aumento da penetração horizontal, como se pode ver na (Fig. 1b).

Quando a espessura da camada à superfície é grande, a pressão exercida provoca uma penetração maior dos hidrocarbonetos.

No caso de subsolos compostos ou formados por rocha fissurada o comportamento dos hidrocarbonetos é diferente.

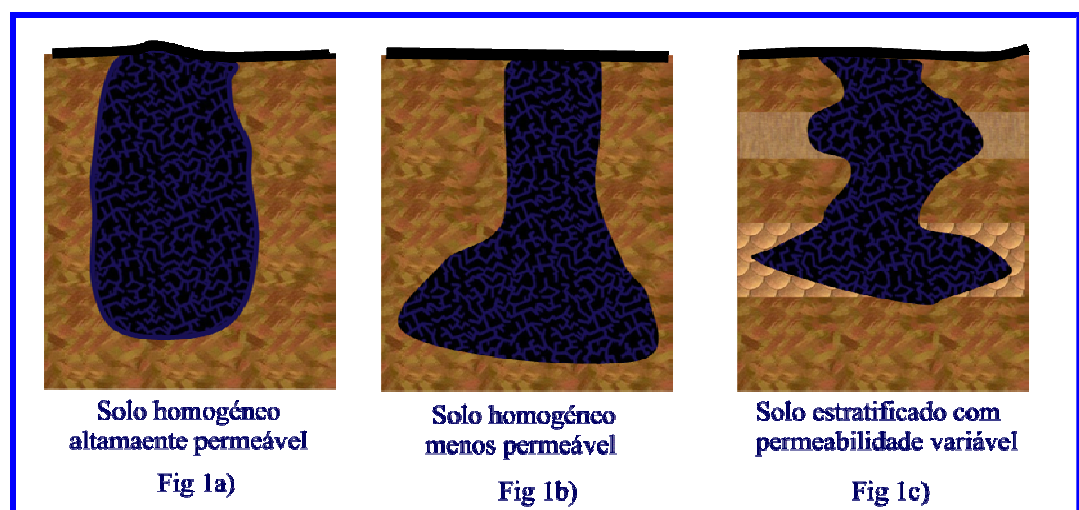


FIG 1 - Formas de espalhamento

Nestes casos os hidrocarbonetos movimentam-se relativamente depressa nas zonas de fissuras, ficando alguma quantidade retida nas paredes.

Esta progressão vertical pode ser parada por um dos seguintes modos:

- aparecimento de uma camada impermeável;
- aparecimento de um lençol de água;
- fato de se ter atingido o limiar de “saturação residual” (*residual saturation*).

1.2.1. “SATURAÇÃO RESIDUAL”

É a quantidade mínima que um fluido deve atingir para se movimentar num meio poroso (ou o limiar abaixo do qual não é mais capaz de se movimentar). É um parâmetro sem dimensões designado pela Capacidade de Retenção R.

1.2.2. PENETRAÇÃO MÁXIMA

A profundidade máxima de penetração dos hidrocarbonetos pode ser estimada pela seguinte fórmula:

$$D = \frac{1000 V}{A \times R \times k}$$

sendo:

D = Profundidade máxima de penetração, em m.

V = Volume do hidrocarboneto infiltrado, em m³.

A = Área da infiltração à superfície, em m².

R = Capacidade de retenção do solo, em lt/m³.

k = Fator de correção para a viscosidade do hidrocarboneto.

k = 0,5 - para hidrocarbonetos pouco viscosos (gasolina, etc.)

k = 1 - para querosene, gasóleo e produtos de viscosidade semelhante.

k = 2 - para hidrocarbonetos mais viscosos como, por exemplo, o óleo-combustível leve.

k = aumenta até infinito com a viscosidade.

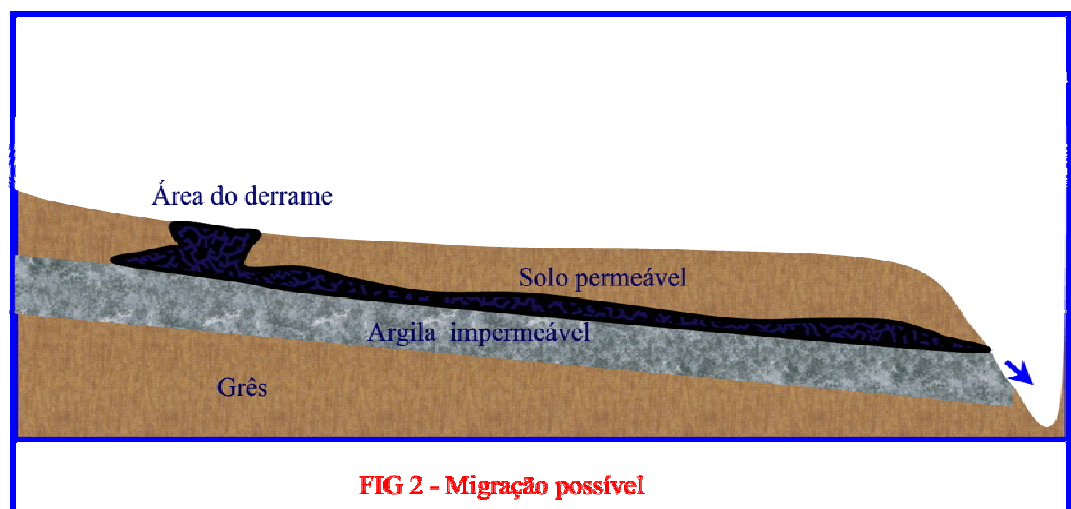
Os valores-tipo de R são dados no quadro seguinte:

Solo	R – Capacidade de Retenção (lt/m ³)
Calhau, Pedrisco grosso	5
Pedrisco grosso, Areia grossa	8
Areia grossa, Areia média	15
Areia média, Areia fina	25
Areia fina, Lodo	40

Os valores de R são para solos porosos com a umidade normal. No caso de solos secos a capacidade de retenção aumenta.

Se o solo for formado por camadas de capacidade de retenção diferentes deve ser utilizado um valor intermediário para R. Em geral, a existência de camadas de características diferentes aumenta a capacidade de retenção; uma vez que na maior parte dos casos os solos são irregulares, a capacidade de retenção real é maior do que a obtida teoricamente.

Qualquer camada impermeável contínua faz parar a movimentação vertical dos hidrocarbonetos, obrigando-os a migrarem lateralmente até que o limiar de saturação residual seja atingido ou até que encontrem um ponto de descarga.



1.3. HIDROCARBONETOS NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Os hidrocarbonetos que, penetrando no solo, atingem as águas subterrâneas podem se espalhar na sua superfície.

Devido à ação de capilaridade, o subsolo se encontra saturado com água acima da camada de águas subterrâneas, o que é observado nos poços. A subida por capilaridade é maior para os poros menores, o que permite observar 2 zonas distintas:

- Uma franja capilar na qual todos os poros estão saturados de água.
- Uma zona não saturada em que os poros menores estão saturados até à superfície, mas os maiores não estão saturados.

Os hidrocarbonetos no subsolo acima da camada de água se espalham na franja capilar. Formam inicialmente uma camada de espuma crescente sob a influência da camada de hidrocarbonetos na superfície. Assim, é exercida uma pressão hidrostática sobre a camada de água.

As forças gravitacionais atuam no sentido de restaurar o nível inicial de água, provocando o deslocamento lateral dos hidrocarbonetos na mesma direção do fluxo da camada de água (Figura 3a).

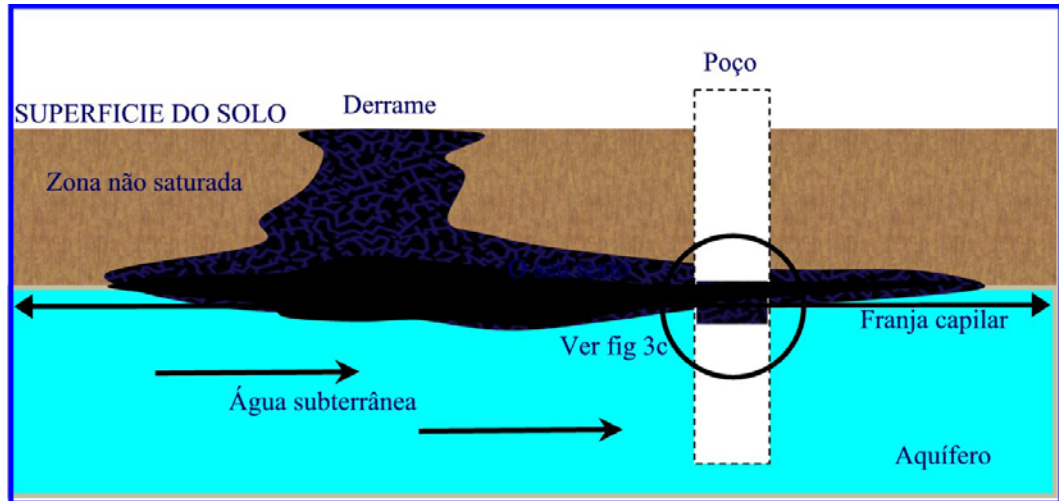


FIG 3a - Hidrocarboneto atingindo a água subterrânea

Tal fenômeno origina nos solos homogêneos o aparecimento de um espalhamento em forma de ovo (Figura 3b).

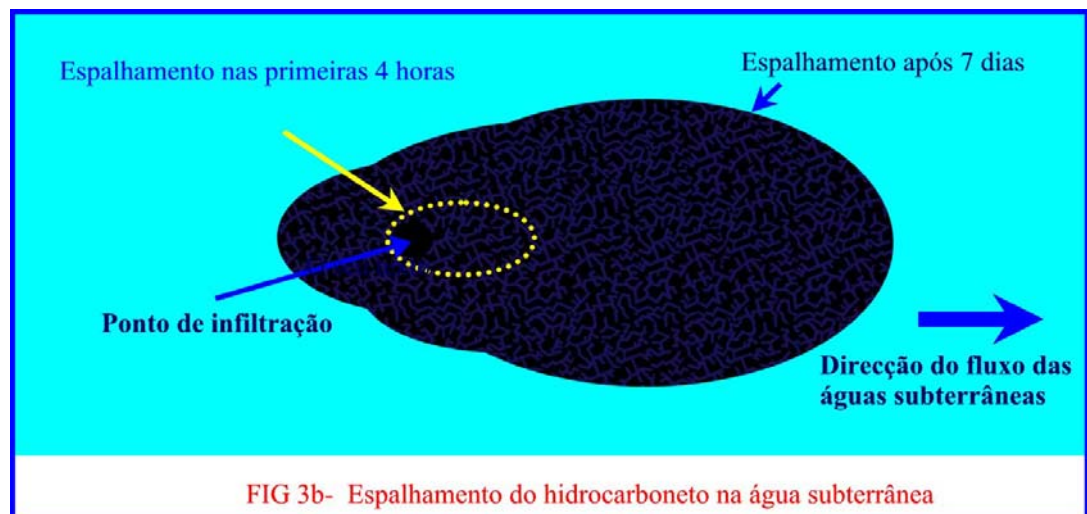


FIG 3b- Espalhamento do hidrocarboneto na água subterrânea

Se os hidrocarbonetos espalhados encontram variações na permeabilidade do subsolo ou fissuras em rochas essa forma de espalhamento muda, conforme se pode ver na Figura 3d.

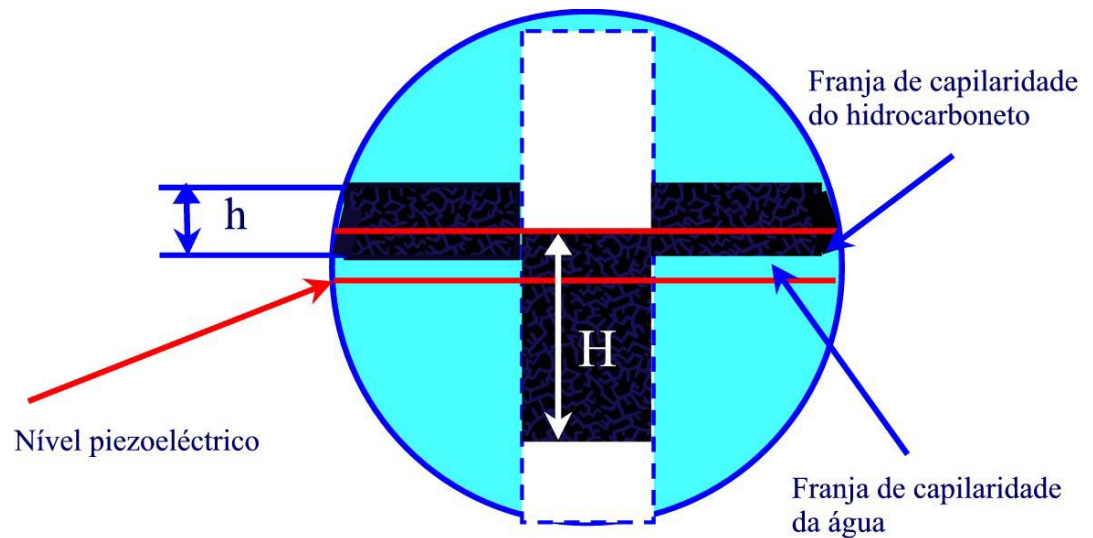


FIG 3c - Espessura do hidrocarboneto num furo

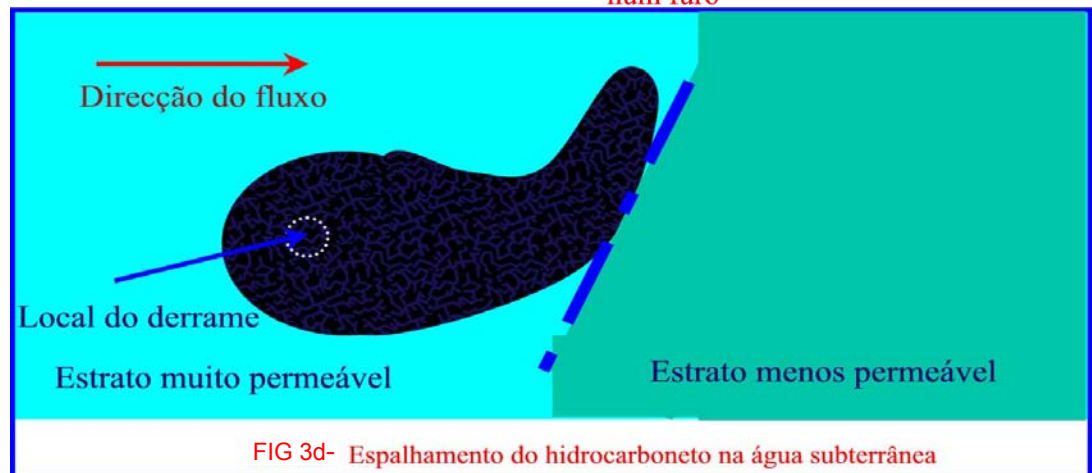


FIG 3d- Espalhamento do hidrocarboneto na água subterrânea

É possível calcular aproximadamente o máximo espalhamento dos hidrocarbonetos na camada de água, usando a seguinte fórmula:

$$S = \frac{1000 V (A \times R \times d \times k)}{F}$$

sendo:

- S = Espalhamento máximo do hidrocarboneto , em m².
- V = Volume de hidrocarbonetos infiltrados, em m³.
- A = Área à superfície onde se verifica a infiltração, em m².
- R = Capacidade de retenção do solo acima da zona da camada de água, em lt/m³.
- d = Profundidade da camada de água, em m.
- F = Hidrocarboneto contido acima da franja capilar, em lt/m² (ou seja, mm).
- k = Fator de correção para a viscosidade dos hidrocarbonetos.

k = 0,5 - para hidrocarbonetos pouco viscosos (gasolina, etc.)

- k = 1 - para querosene, gasóleo e produtos de viscosidade semelhante.
k = 2 - para hidrocarbonetos mais viscosos, como por exemplo, o óleo-combustível leve.
K - para hidrocarbonetos mais viscosos, aumenta até infinito.

Tabela de valores para **R** e **F**

CONSTANTES	R	F
Solo	Lt/m ³	lt/m ²
Calhau, Pedrisco grosso	5	5
Pedrisco grosso, Areia grossa	8	8
Areia grossa, Areia média	15	12
Areia média, Areia fina	25	20
Areia fina, Lodo	40	40

Como na fórmula apresentada acima (da penetração), esta fórmula conduz a um valor aproximado para S, considerando a não homogeneidade dos solos, o que origina um valor real de espalhamento menor do que o calculado pela fórmula.

Dois outros fatores originam a falta de precisão da estimativa:

- Flutuações repetidas da camada de água expõem o solo que não tinha ainda tido contato com os hidrocarbonetos. Em cada contato, parte dos hidrocarbonetos é retida, o que provoca uma redução do volume de hidrocarbonetos residuais (Figura 3e).

A espessura dos hidrocarbonetos espalhados sobre a camada de água, não tem mesma espessura dos hidrocarbonetos medida num poço (Figura 3c).

- As escavações ou abertura de furos, ao penetrarem no subsolo até à camada de água, provocam a remoção da franja de capilaridade (Figura 3c).

O nível de água que se estabiliza então no poço, denominado nível piezométrico, pode ser substancialmente inferior ao topo da franja, saturada por capilaridade.

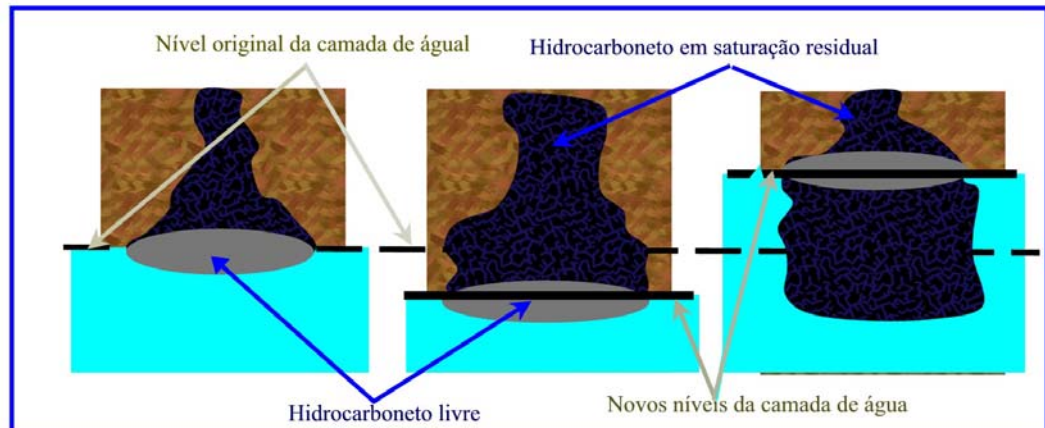


FIG 3e - Efeito contaminante do solo pela existência de uma camada de água

Em solos lodosos ou de areia fina, onde as forças de capilaridade são relativamente elevadas, o topo da franja da capilaridade pode estar 50 cm ou mais acima do nível piezométrico.

Os hidrocarbonetos migram no orifício, a partir da sua posição mais elevada no solo.

Se os hidrocarbonetos acumulados não são removidos, especialmente nos casos de poluição elevada, o topo da camada dos hidrocarbonetos no poço pode atingir o topo da franja de capilaridade sugerindo uma profundidade maior que a real.

Cálculos teóricos mostram que:

$$H = \pm 4 \times h$$

Assim, qualquer estimativa para calcular, o volume dos hidrocarbonetos espalhados, pela multiplicação da área ocupada pelos hidrocarbonetos livres numa camada de água, pela espessura da camada observada num furo ou poço, originará uma sobre-avaliação da ordem de 4 vezes.

A velocidade com que os hidrocarbonetos se espalham sobre a camada de água varia muito com o tempo.

Podem ser utilizados modelos matemáticos complexos, sendo que os resultados são em função da precisão dos dados fornecidos.

Normalmente, 40 a 70% do espalhamento final se verifica nas primeiras 24 horas, com 60 a 90% atingidos ao fim de uma semana, podendo o processo se prolongar por muito tempo até que a capacidade de retenção do solo seja atingida.

Há casos em que se verifica o reaparecimento dos hidrocarbonetos durante anos, associados a períodos de grande pluviosidade.

É raro que os hidrocarbonetos na fase líquida percorram grandes distâncias, a menos que encontrem rotas privilegiadas como, por exemplo, dutovias ou outras descontinuidades.

1.4. **HIDROCARBONETOS DISSOLVIDOS NA CAMADA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA**

Componentes dos hidrocarbonetos contaminantes e da biodegradação parcial podem ser dissolvidos pela água da chuva percolada e transferidos para a água subterrânea em concentrações extremamente baixas.

2. IDENTIFICAÇÃO DE UMA ZONA CONTAMINADA

2.1. PRINCÍPIOS GERAIS

A primeira ação no caso de ocorrência de um derrame é a sua contenção. Normalmente não existe tempo para preocupações com a determinação do espalhamento no subsolo, o que só é efetuado quando já se passou algum tempo e o espalhamento cessou ou é muito reduzido.

Normalmente pretende-se avaliar a extensão da zona de subsolo contaminada para o seu tratamento e eventual recolha de hidrocarbonetos.

O espalhamento e movimentos dos hidrocarbonetos podem ser estudados por um dos seguintes processos:

- Observação visual e cheiro;
- Dados hidrológicos;
- Poços de observação;
- Análises da água e do solo;
- Modelação matemática.

A escolha de um ou mais métodos depende das condições locais e deve ser efetuada para cada caso específico.

É necessária a utilização de fitas plásticas para isolamento da área de trabalho.

2.2. OBSERVAÇÃO VISUAL

É o caso de derrames em superfícies pavimentadas e muitas vezes nos casos de relva e outras coberturas de vegetação análogas, onde a observação visual pode dar bons resultados.

Nestes casos é normal que no final de alguns dias se verifique uma mudança de coloração (para castanho) da zona atingida ou queda de folhagem.

Os derrames em superfícies de água também são visíveis pela sua coloração mesmo em pequenas quantidades.

No caso de derrames em instalações subterrâneas, como é o caso dos oleodutos, dos tanques de armazenagem, etc, podem não ser visíveis o derrame e o seu espalhamento por observação visual a menos que a quantidade seja elevada e/ou afete a vegetação na superfície.

Existem métodos para avaliar variações imperceptíveis na vegetação por cuidadosa comparação entre do crescimento das mesmas espécies botânicas numa área supostamente contaminada e em outra não contaminada, ou por fotografia com película infravermelha, já que a vegetação atingida poderá ter mais 2 a 3°C de temperatura que as não atingidas.

Regra geral, os hidrocarbonetos penetram profundamente no solo antes de se espalharem pelas águas subterrâneas.

2.3. PENETRAÇÃO VERTICAL

Como anteriormente citado, os hidrocarbonetos da superfície penetram nas zonas não saturadas, podendo ser avaliada a profundidade máxima deste fenômeno.

A remoção de camadas do solo e o seu exame, por aparência e cheiro, podem ser uma solução e deverá ser efetuada por várias pessoas, já que o cheiro do ambiente na zona de contaminação pode esconder o odor da amostra. Podem ser efetuadas análises nos casos duvidosos, o que é raro.

As amostras podem ser obtidas por escavação ou perfuração, esta normalmente para maiores profundidades. Não se deve furar mais do que o necessário sob pena de facilitar a penetração dos hidrocarbonetos para profundidades maiores e deve haver muito cuidado em áreas urbanas.

A determinação do nível da água subterrânea pode ser efetuada com a utilização de uma massa especial que muda de cor em presença da água.

É conveniente o uso das fórmulas apresentadas no capítulo anterior.

2.4. HIDROCARBONETOS NA CAMADA DE ÁGUA DE UM AQUÍFERO

Como regra geral, os hidrocarbonetos livres e os componentes dissolvidos, se movem na direção do fluxo das águas subterrâneas, o que em muitos casos é assumido como sendo na direção da inclinação do terreno. Nestes casos a constatação da inclinação do terreno dá uma boa indicação da direção do fluxo dos hidrocarbonetos.

Em terreno plano ou quase plano pode-se assumir, como primeira hipótese, que o fluxo se fará na direção de rios ou cursos de água. Não é uma certeza, pois pode haver variações de acordo com a estação do ano e ser no sentido inverso.

Em terrenos não homogêneos ou com descontinuidades naturais, ou provocadas pelo homem, existem no subsolo caminhos preferenciais para os hidrocarbonetos. Neste caso são necessárias medições do nível piezométrico para confirmação da direção do fluxo, devendo ser abertos furos de observação. Um traçador solúvel não tóxico (Fluorescein, Rhadamine WT ou água salgada) pode ser injetado no aquífero na área do derrame para identificação do fluxo. O seu aparecimento num ou mais poços de observação colocados radialmente na zona, supostamente atingida, permitirá obter a direção do espalhamento. A medição do tempo entre a injeção do produto e o seu aparecimento no poço permitirá avaliar a velocidade do espalhamento.

3. ESTRATÉGIA DE LIMPEZA

Um dos elementos fundamentais numa estratégia de limpeza é o de ter um bom plano coordenador de limpeza.

No caso de oleodutos é necessário ter à disposição mapas das áreas, os mais detalhados possíveis, mostrando tanto o caminho do oleoduto, como a passagem por rios, cursos de água, áreas servidas por sistemas de esgotos, etc., etc.

É essencial a colaboração das autoridades locais para integrarem nos mapas toda a informação disponível.

Toda atenção deve ser dada para a segurança do pessoal envolvido nas operações de limpeza e da população, quando for escolhido o equipamento que irá ser utilizado e dos locais da sua concentração, evitando locais públicos de elevada concentração de pessoas dado o perigo de explosões ou ignição dos voláteis dos hidrocarbonetos.

3.1. PESSOAL E TREINAMENTO

A quantidade de pessoal utilizado depende de dois fatores:

- A dimensão do derrame;
- A sensibilidade ambiental da área.

Neste último caso a rapidez e a melhor qualidade da limpeza obrigam a utilizar um número maior de pessoas.

No entanto, a utilização exagerada de pessoal pode ser contraproducente. Se necessário, é melhor demorar mais tempo nas operações de limpeza, mas efetuar uma operação mais cuidadosa, o que é normalmente impossível com muitas pessoas.

O pessoal pode ser recrutado através de um dos seguintes modos:

- pertencer todo a um empreiteiro;
- pertencer todo à companhia poluidora;
- uma combinação dos processos anteriores.

O treino e experiência são fundamentais, em especial no pessoal superior e chefes de equipas.

4. MÉTODOS DE LIMPEZA PARA SUPERFÍCIES

4.1. MÉTODOS DE CONTENÇÃO

Um dos pontos que se deve estudar cuidadosamente no início das operações de limpeza é o de definir a contenção ou não contenção dos hidrocarbonetos.

Como citado anteriormente, a contenção dos hidrocarbonetos cria uma maior espessura, o que provoca uma maior penetração no subsolo e uma facilidade maior dos hidrocarbonetos de atingirem as águas subterrâneas. Isto acontece no caso das ações de recolha não serem suficientemente rápidas e tem uma certa expressão em solos porosos.

Se o derrame ocorre em bacias de segurança confinadas de solo em pedrisco, pode-se reduzir a migração dos hidrocarbonetos enchendo a área até o pedrisco com água, para que os hidrocarbonetos fiquem na superfície. A válvula da bacia de segurança deverá estar fechada e ser aberta com cuidado apenas para remoção da água.

Se o derrame ocorrer fora da bacia de segurança, normalmente irá para o coletor de águas pluviais, e respectivo sistema de decantação. Em caso de um derrame grande, o volume de hidrocarbonetos poderá ser excessivo para o sistema de decantação (se existir) e ser arrastado para o local de descarga das águas pluviais.

É fundamental tomar as medidas necessárias para evitar que os hidrocarbonetos entrem nos sistemas de esgotos, dutos de cabos elétricos e de oleodutos, etc. As entradas devem ser protegidas por sacos de terra ou absorventes. Bolas de futebol cheias de ar podem servir para obturação de esgotos de até 30 cm de diâmetro.

Os hidrocarbonetos que escapam da ação de obturação das entradas podem contaminar os rios, lagos e reservatórios, alguns dos quais podem ser captações de água doce para consumo e ter, portanto, um grande impacto na opinião pública.

No caso de entrarem em estações de tratamento de esgotos vão interferir com o seu funcionamento, podendo colocá-las fora de ação com implicações para a saúde humana.

Se os hidrocarbonetos tiverem voláteis, a sua entrada em condutas ou espaços confinados é acompanhada por risco de explosão.

Para pequenos derrames é aconselhada a utilização de produtos absorventes, pois removem os hidrocarbonetos. Para grandes derrames a sua utilização é proibitiva em termos de custos.

4.2. MÉTODOS DE REMOÇÃO

Como citados acima, a utilização de absorventes no caso de pequenos derrames permite evitar a contenção e promove logo a sua remoção. Quando pressionados sobre o solo têm um efeito de esponja.

No caso de grande volume de hidrocarbonetos utilizam-se outros métodos. Um deles poderá ser um recuperador do tipo de vácuo. Outro método para maiores quantidades confinadas é a utilização de bombas auto-aspirantes, capazes de admitir que o líquido aspirado contenha uma elevada percentagem de sólidos.

Quando os hidrocarbonetos contêm muitos voláteis devem ser utilizadas bombas com motores “*explosion-proof*”, a menos que a área tenha sido considerada como segura para a utilização de explosímetros.

No caso de hidrocarbonetos muito viscosos, deve-se utilizar palha para misturar com os hidrocarbonetos e criar uma mistura capaz de ser mais facilmente manuseada.

4.3. ARMAZENAGEM TEMPORÁRIA DE HIDROCARBONETOS

Ver [ANEXO 19](#) - ARMAZENAGEM E TRANSPORTE DE DETRITOS DE HIDROCARBONETOS

4.4. TRATAMENTO E ELIMINAÇÃO DE HIDROCARBONETOS

Ver [ANEXO 20](#) - TRATAMENTO E ELIMINAÇÃO DE DETRITOS

4.5. MÉTODOS DE LIMPEZA PARA SOLOS

Os hidrocarbonetos no solo vão interferir com o crescimento das plantas, podendo reduzir as colheitas por algum tempo. O solo pode ser tratado no local (*in-situ*) por meio de processos de biodegradação ou por remoção.

4.5.1. TRATAMENTO *IN-SITU*

Os hidrocarbonetos danificam as plantas, mais por interferirem com a aspiração de água e nutrientes do que por efeitos tóxicos. Bactérias degradadoras de hidrocarbonetos estão sempre presentes nos solos. Quando há ocorrência de um derrame, desde que existam nutrientes e oxigênio, essas bactérias se multiplicam e aumentam a atividade bacteriológica. A utilização do nitrogênio para esta atividade provoca a sua redução para efeito do crescimento das plantas. Depois de um derrame, estas bactérias conseguem restaurar o terreno num período de 1 a 4 anos, desde que existam condições para tal (temperaturas acima dos 7°C, oxigênio, nutrientes). A degradação sem a presença de oxigênio pode existir, mas é de proporções muito reduzidas.

Além do processo natural de restauração das condições do solo, existem processos para incrementá-la, tais como:

- Aerificação;
- Diluição dos hidrocarbonetos;
- Fertilização.

No primeiro caso, os hidrocarbonetos devem ser ficados o mais próximo possível da superfície para que se possa proporcionar oxigênio e permitir a sua evaporação.

Outro método para melhorar a textura do solo é impregná-lo de cal, provocando uma maior fixação e menor mobilidade dos hidrocarbonetos.

A diluição dos hidrocarbonetos permite uma melhor atuação das bactérias.

Quando a camada superior saturada de hidrocarbonetos é removida a camada restante deve permanecer ao ar o maior tempo possível antes de ser adicionada nova camada de terra.

O processo de recuperação deverá se manter até que a concentração de hidrocarbonetos seja da ordem dos 500 a 1000 mg/kg, o que proporciona um crescimento normal da maioria das plantas.

Os organismos que se alimentam de hidrocarbonetos necessitam de uma dieta apropriada, uma vez que a relação de conversão dos hidrocarbonetos é comandada pelo nitrogênio, fósforo e potássio. A aplicação de um fertilizante N.P.K. inorgânico ajudará nessa correção. Em solos de argila e outros com deficiência em cálcio é aconselhável a aplicação de cal.

As matérias orgânicas com elevada relação carbono-nitrogênio devem ser evitadas (palha ou folhas).

A primeira aplicação do fertilizante deve ser efetuada imediatamente, de modo a proporcionar uma relação de 1 parte de nitrogênio para cada 10 partes de carbono no solo.

Quando forem aplicados mais do que 100 kg/ha de nitrogênio, a aplicação deve ser efetuada em camadas. O solo deverá ser analisado em períodos de 6 meses e novas aplicações efetuadas quando algumas deficiências forem encontradas.

A adição de bactérias especiais deverá ser efetuada, caso tenha havido queima dos hidrocarbonetos *in-situ*, o que ocasiona a destruição das bactérias. As novas bactérias tornam-se eficientes após 2 semanas.

Normalmente a primeira colheita após a recuperação é reduzida em relação ao normal, mas estabiliza no segundo e terceiro anos.

As colheitas seguintes são normalmente melhores que as normais pela fertilização da terra.

Contudo, deve-se ter o cuidado de não utilizar os produtos destas colheitas para a alimentação humana, com risco da existência de poluentes perigosos (por ex., metais pesados).

4.5.2. REMOÇÃO DO SOLO

A remoção, tratamento/eliminação e a renovação do solo contaminado são uma operação dispendiosa, mas permitindo que o solo recupere a sua condição anterior num curto espaço de tempo.

Normalmente é utilizado para pequenas áreas, jardins e quando existe a necessidade de proteção de águas subterrâneas.

Os primeiros centímetros de solo devem ser removidos usando, se possível, escavadeiras.

O solo saturado deve ser removido até 0,5 m nos locais onde exista penetração profunda. Remoções mais profundas são raras.

A menos que o solo seja transportado para longe, deve sofrer uma armazenagem temporária em superfície impermeável ou em plástico. Os hidrocarbonetos separados devem ser removidos.

Se possível, este solo deverá ser estendido o máximo possível para melhorar a evaporação. No caso de gasolina a evaporação será rápida. No caso de produtos mais pesados, a terra deverá ser tapada com plástico para evitar o arrastamento dos hidrocarbonetos com a chuva. Deverá ficar exposto o maior tempo possível.

4.6. LIMPEZA DE SUPERFÍCIES DIVERSAS

4.6.1. VALAS

Freqüentemente os hidrocarbonetos ficam depositado nas paredes das valas e na sua vegetação.

A vegetação espessa deve ser cortada e removida para incineração em outro local, enquanto a vegetação remanescente deverá ser queimada com um maçarico especial. Não limpar com dispersantes.

4.6.2. FUNDOS DE LAGOAS E RESERVATÓRIOS

Nestes casos os hidrocarbonetos podem contaminar a camada do lodo do fundo mesmo que a penetração apenas aconteça enquanto o lodo está úmido. Os hidrocarbonetos levam muito tempo para degradar por causa da quantidade reduzida de oxigénio, então é conveniente a remoção do lodo.

4.6.3. MARGENS DOS CURSOS DE ÁGUA

Seixos, areias e resíduos nas praias, bem como as margens de lagos e rios, são limpos de modo mais eficiente pela remoção física dos resíduos de alcatrão.

O uso de dispersantes deve ser evitado ou, quando aplicado, utilizar pequenas quantidades e de gama criteriosa.

4.6.4. EDIFÍCIOS

A remoção de hidrocarbonetos de edifícios e estruturas de cimento deve ser efetuada com solventes de baixa toxicidade.

Devem ser observados os cuidados habituais para a utilização deste tipo de produto (luvas, óculos, etc.).

Nos pisos inferiores ou locais subterrâneos devem ser efetuadas leituras com explosímetros antes de se efetuar qualquer operação de limpeza.

Quando o contaminante é um produto destilado, o revestimento impregnado geralmente recupera a condição inicial devido ao envelhecimento do produto o que pode ser acelerado com ar quente.

Quando se trata de produtos pretos, em primeiro lugar efetuar uma limpeza com solventes ou detergentes. Normalmente só uma pintura poderá fazer desaparecer todos os vestígios dos hidrocarbonetos.

Quando se trata de um derrame nas fundações de uma casa de madeira o cheiro permanecerá durante meses, sendo necessário ventilar a área o máximo possível. Deve ser dada atenção aos problemas relacionados com o perigo da explosão de voláteis.

4.6.5. ACESSÓRIOS PLÁSTICOS

Nestes acessórios o sucesso da limpeza depende do tipo do plástico, da natureza dos hidrocarbonetos e da rapidez da limpeza após a contaminação.

Certos plásticos são mais “porosos” que outros e mais difíceis de limpar, exigindo até mesmo abrasivos. Nos não porosos lavagens com detergentes poderosos geralmente são suficientes.

4.6.6. JARDINS

Nos jardins é geralmente utilizada a técnica de remoção do solo. No caso de árvores, estas são salvas pela substituição da maior parte do solo junto das raízes e por uso abundante de fertilizantes.

Relvas que tenham sido ligeiramente atacadas devem ser aerificadas e fertilizadas, enquanto que no caso de fortes contaminações é muito difícil a recuperação.

4.6.7. CAMINHOS ALCATROADOS

Mesmo pequenos derrames podem originar o amolecimento e danos físicos a estes caminhos, pelo que devem ser removidos o mais rapidamente possível. Existem absorventes em pó específicos para estes casos. Após a sua utilização deve-se fazer uma escovagem com uma pequena quantidade de água ou detergente.

4.6.8. CARROS, VEÍCULOS UTILITÁRIOS, ETC.

Na maioria dos casos serão satisfatoriamente limpos com detergentes para veículos. Consultar entendidos em veículos.

4.6.9. BOTES E ACESSÓRIOS

Referimo-nos a pequenos barcos de lazer, uma vez que para os navios de grande porte as operações são de limpeza do casco.

As embarcações são geralmente de madeira ou de fibra de vidro.

As embarcações de madeira são geralmente acabadas com verniz ou pintura de poliuretano. Ambos respondem bem à lavagem com detergentes “*heavy duty*”.

As embarcações tratadas exteriormente com verniz para exteriores respondem melhor à abrasivos em pó ou produtos de limpeza domésticos.

Barcos em fibra de vidro são, tanto no casco, como nos pavimentos, normalmente acabados com “*gel coat*” ou têm pavimentos em compensado marítimo ou PVC rígido.

Cascos bem mantidos respondem bem a detergentes “*heavy duty*” seguidos por um polimento.

Áreas de compensado marítimo devem ser tratadas como os cascos de madeira.

Antes da aplicação de qualquer produto detergente ou abrasivo devem ser feitos testes para escolha do mais adequado.

4.6.10. ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS

De um modo geral estas estações podem apenas receber pequenas quantidades de hidrocarbonetos. Grandes quantidades de hidrocarbonetos interferem com a atividade biológica do sistema, podendo mesmo provocar a desativação da estação durante semanas ou meses.

No caso da suspeita de que os hidrocarbonetos entraram na estação de tratamento a entidade responsável pela estação, deverá ser avisada para que tome as medidas apropriadas.

5. MÉTODOS DE LIMPEZA DO SUBSOLO

Quando um derrame de hidrocarbonetos penetra a partir de um solo poroso para uma camada inferior à superfície, é necessário efetuar uma limpeza, o que pode envolver degradação biológica, escavação ou lavagem ou uma combinação destas técnicas, as quais são descritas nos parágrafos que se seguem.

5.1. DEGRADAÇÃO BIOLÓGICA DOS SUBSOLOS

Provavelmente os hidrocarbonetos no subsolo, a mais de 1 metro de profundidade, não causarão problemas para as futuras colheitas. Podem ser deixados em degradação natural por ação biológica, que certamente será muito lenta. Se os hidrocarbonetos estiverem confinados acima de um lençol de água ou de um aquífero não explorável não existe qualquer problema.

A aplicação de quantidades extras de fertilizantes no solo na superfície apenas irá beneficiar a taxa de degradação (ver Tratamento de Solos).

5.2. ESCAVAÇÃO DE SUBSOLOS

Os hidrocarbonetos no subsolo podem ser removidos por escavação. A substituição deste solo por solo limpo pode ser vantajosa e econômica em muitos casos. No entanto, como não causa problemas às plantas, apenas deverá ser utilizada esta técnica como meio de proteção de um lençol ou poço de água potável.

Em locais habitados, deve-se ter cuidado na escavação, para evitar danos aos cabos e dutos enterrados, bem como com as fundações dos edifícios.

No caso de se tratar de produtos tais como a gasolina, deve-se levar em consideração os perigos de explosão ou de misturas asfixiantes.

No caso de trabalho subterrâneo, devem ser efetuadas medições com explosímetros durante todo o trabalho. Como medida de precaução deve ser interdito o trabalho desacompanhado e deverão existir aparelhos respiratórios individuais nas proximidades.

Os furos para escavações acima de 5 metros crescem muito rapidamente com a profundidade.

Muito cuidado, para que não haja perfuração de camadas subterrâneas impermeáveis, pois provocam o aumento de profundidade da penetração dos hidrocarbonetos.

Se for decidido escavar deve-se iniciar o processo o mais rapidamente possível após o derrame. Deste modo o solo saturado é removido antes do espalhamento dos hidrocarbonetos e, portanto, diminuída a quantidade de terra que deverá ser removida.

Esta técnica não deve ser utilizada se os hidrocarbonetos atingirem um lençol de água, devendo ser substituída pelas técnicas de limpeza de lençóis de água.

Em resumo, esta técnica deverá ser utilizada quando existem por perto poços de água potável e quando o solo se encontra visivelmente impregnado de hidrocarbonetos.

5.3. TRATAMENTO DO SUBSOLO REMOVIDO

Se o subsolo removido estiver contaminado com produtos voláteis estendê-lo sob um plástico impermeável com uma altura de cerca de 0,5 m e deixá-lo ao ar. Colocar avisos para “não fumar” e, se necessário, para acelerar o processo, remexer o solo, podendo depois, ser colocado no local inicial.

Quando não contenha produtos voláteis pode ser tapado com películas de polietileno, o que aumenta a temperatura do solo e evita a evaporação de água, acelerando assim a biodegradação.

5.4. LAVAGEM DE SUBSOLOS

Esta técnica consiste essencialmente na percolação de grandes quantidades de água no solo para promover a movimentação dos hidrocarbonetos para baixo e a lavagem dos componentes solúveis. É apenas utilizada em conjunto com a recolha dos hidrocarbonetos da água subterrânea e com as técnicas de limpeza de águas subterrâneas.