



Remediação Ambiental



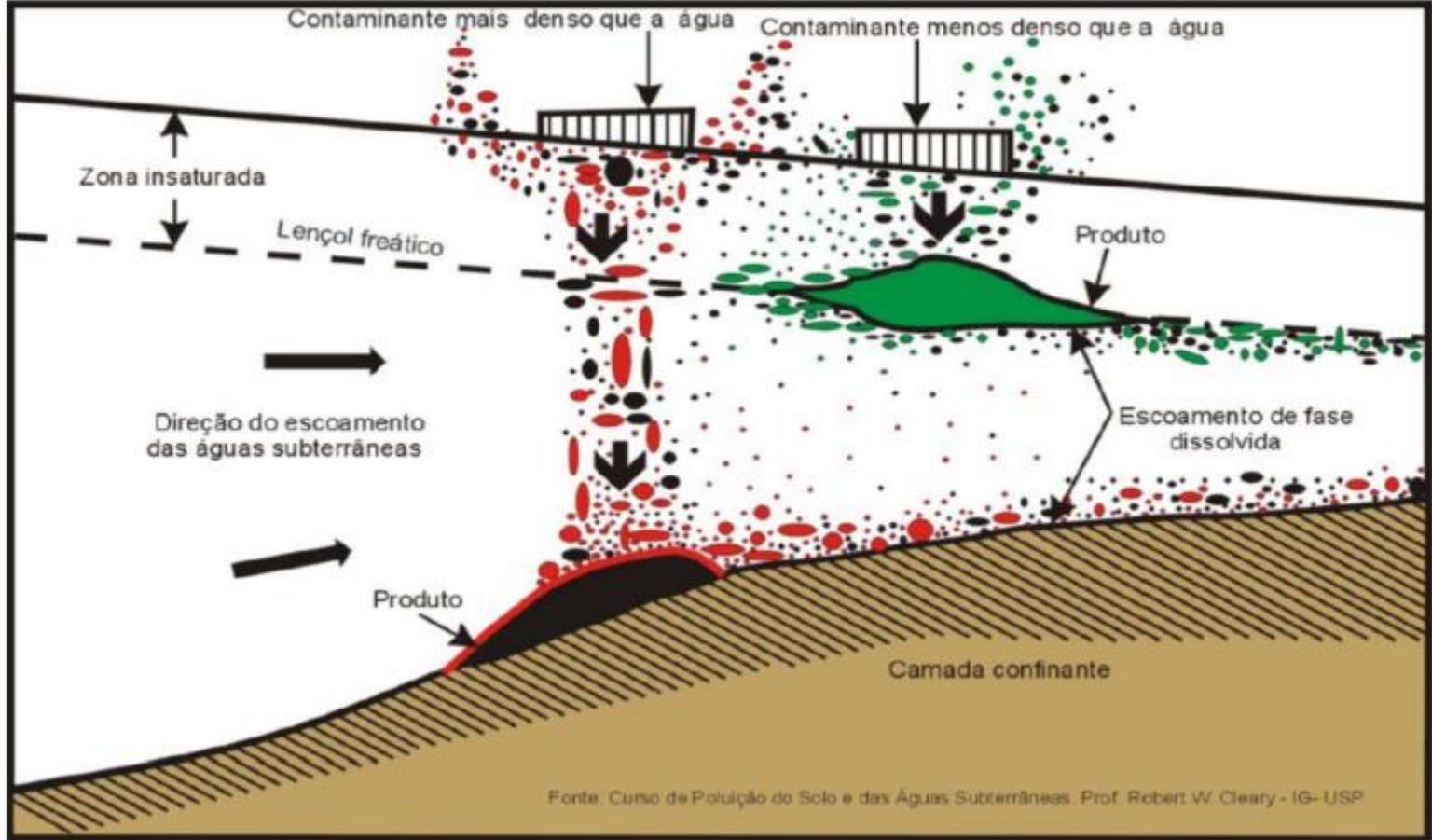
TÉCNICAS DE REMEDIAÇÃO DE LNAPL



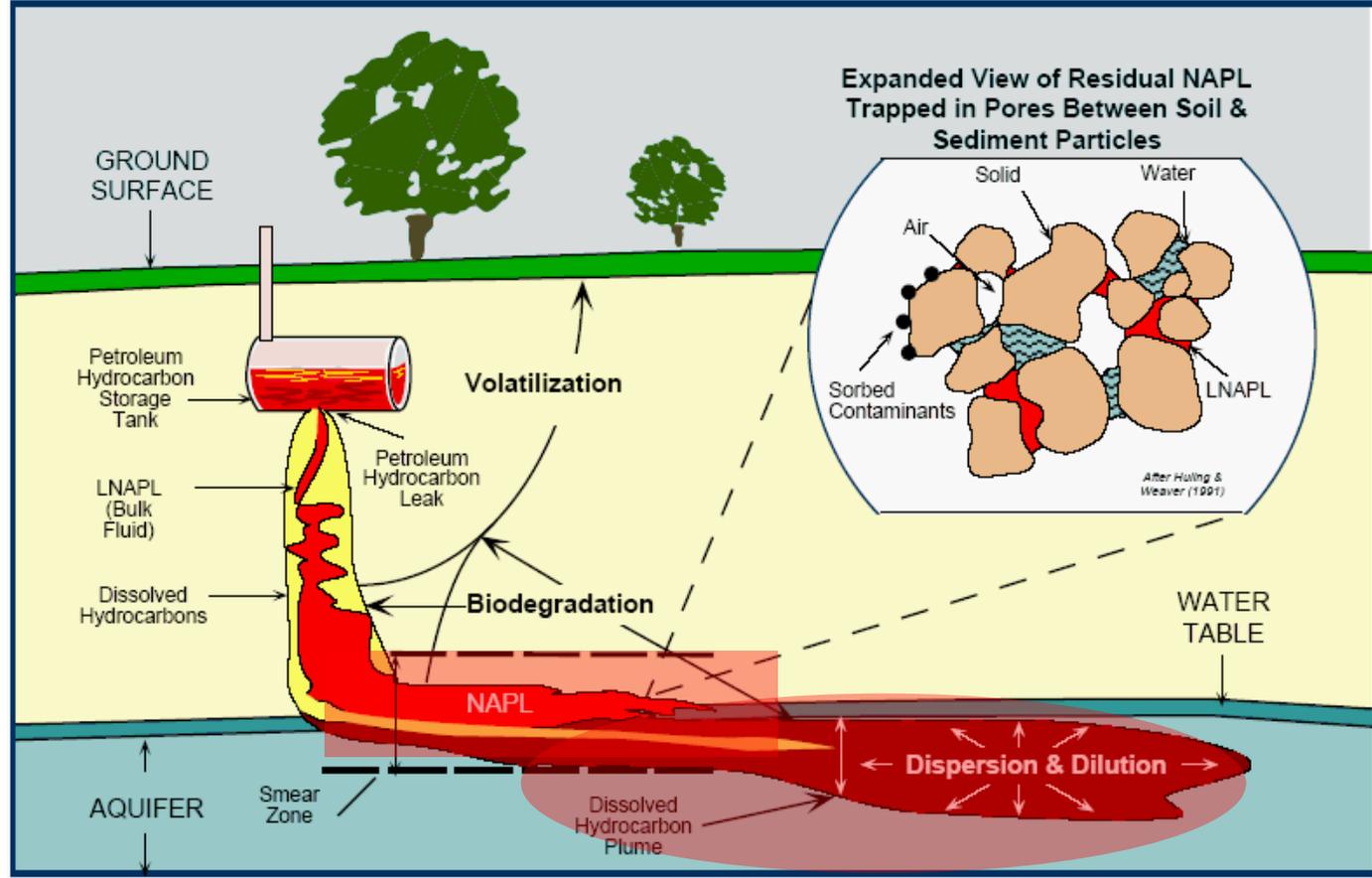
A remediação de áreas contaminadas definitiva e com custo acessível é possível?

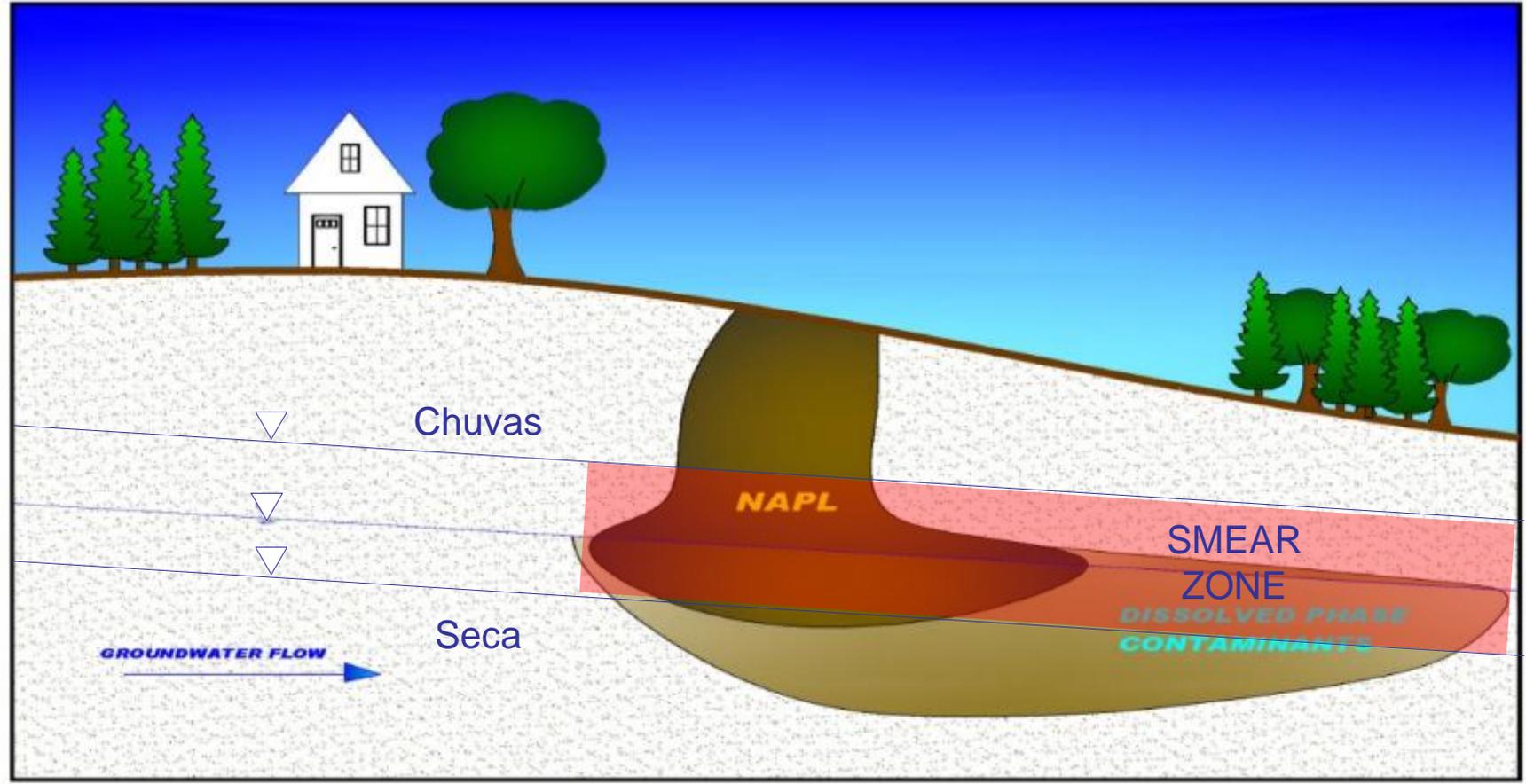
Conceitos de Contaminação

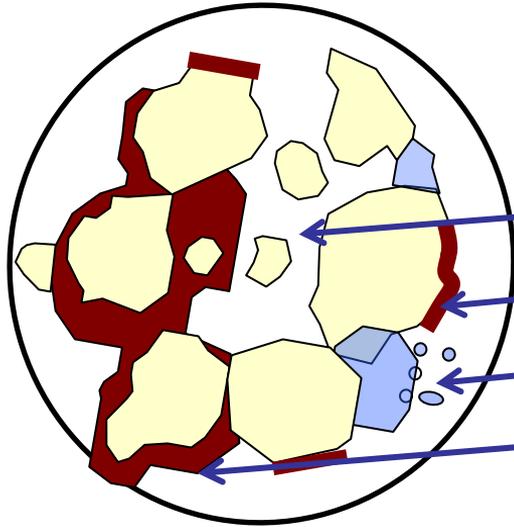




Fonte: Curso de Poluição do Solo e das Águas Subterrâneas. Prof. Robert W. Cleary - IG-USP

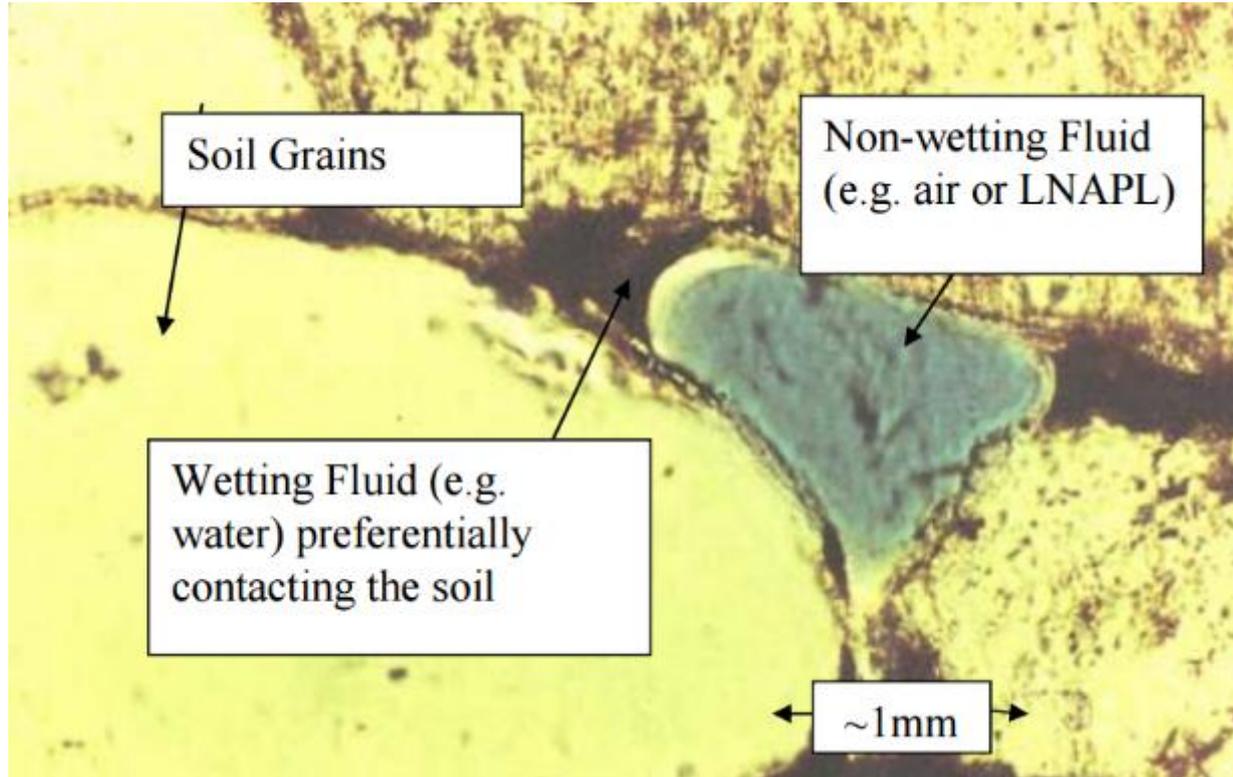


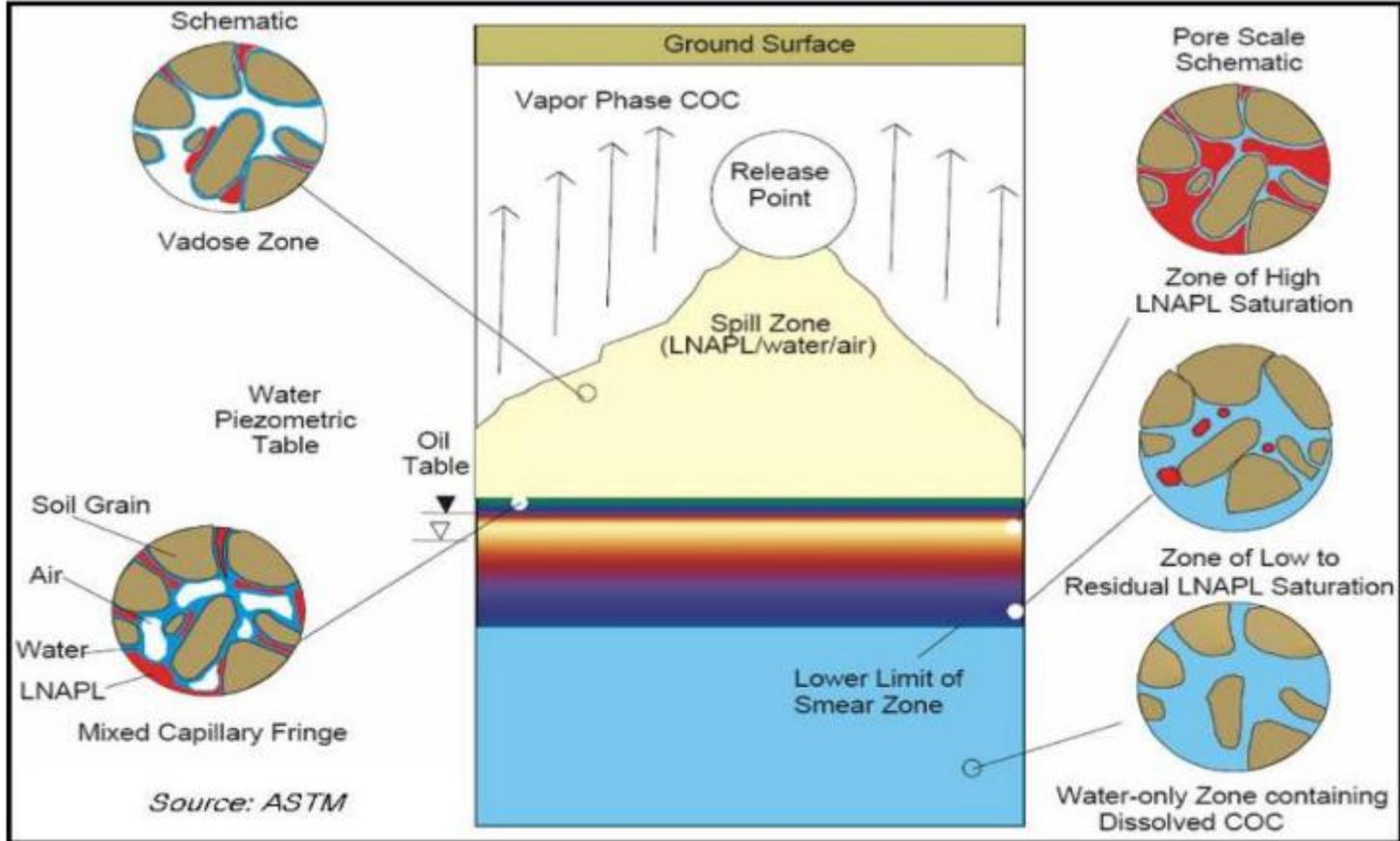




Suthersan, 1996

- A massa de contaminantes está presente nos seguintes estados:
- Gasoso (soil gas)
- Adsorvido e Absorvido no solo
- Dissolvido
- Fase livre
- **> de 80%** da massa de hidrocarbonetos está nas fases adsorvida e livre.



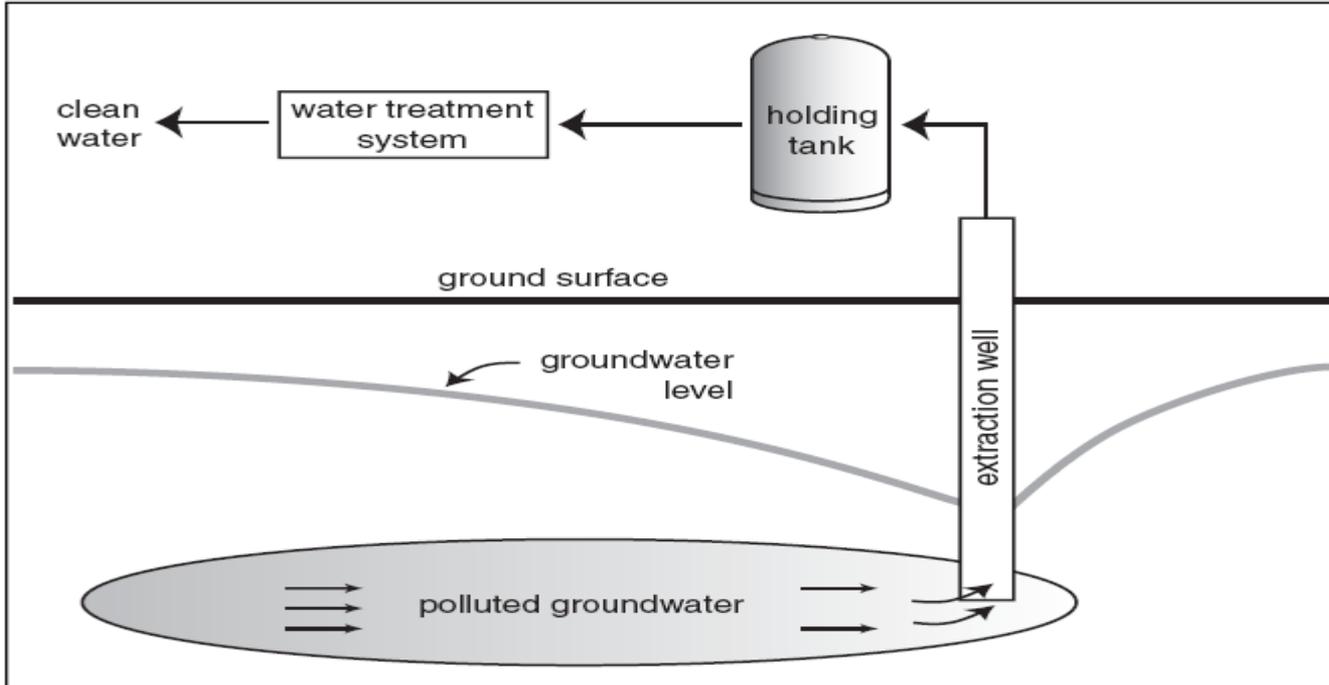




Sistemas Tradicionais: P&T, MPE

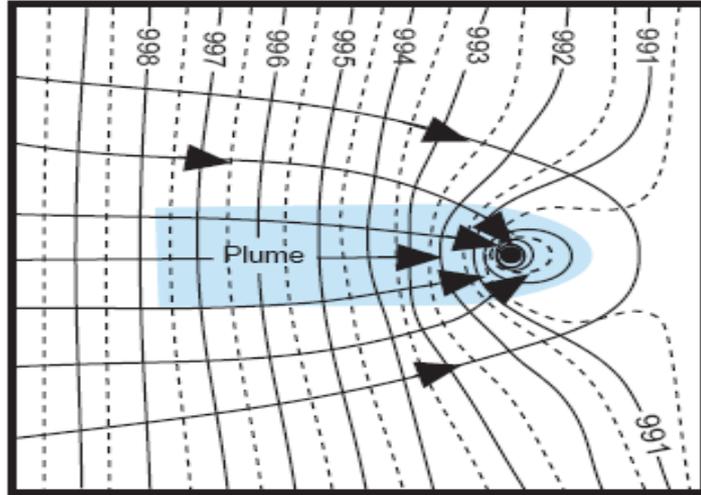


Bombeamento

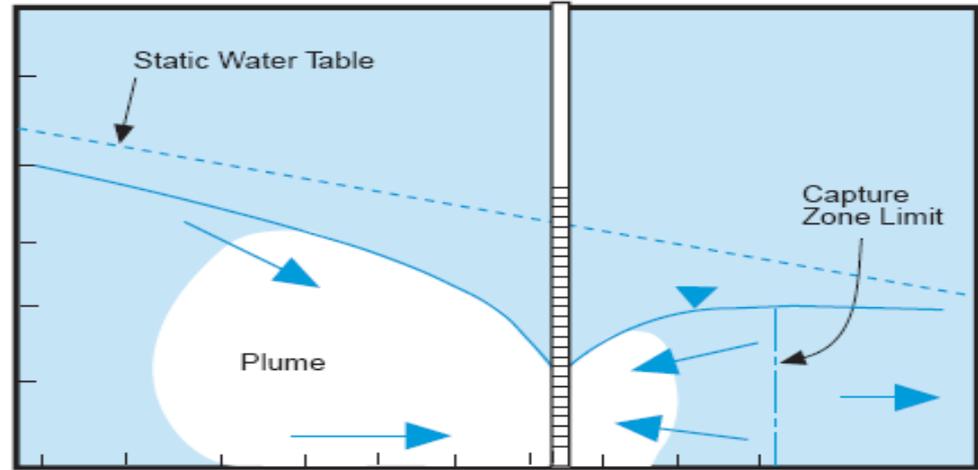




Bombeamento

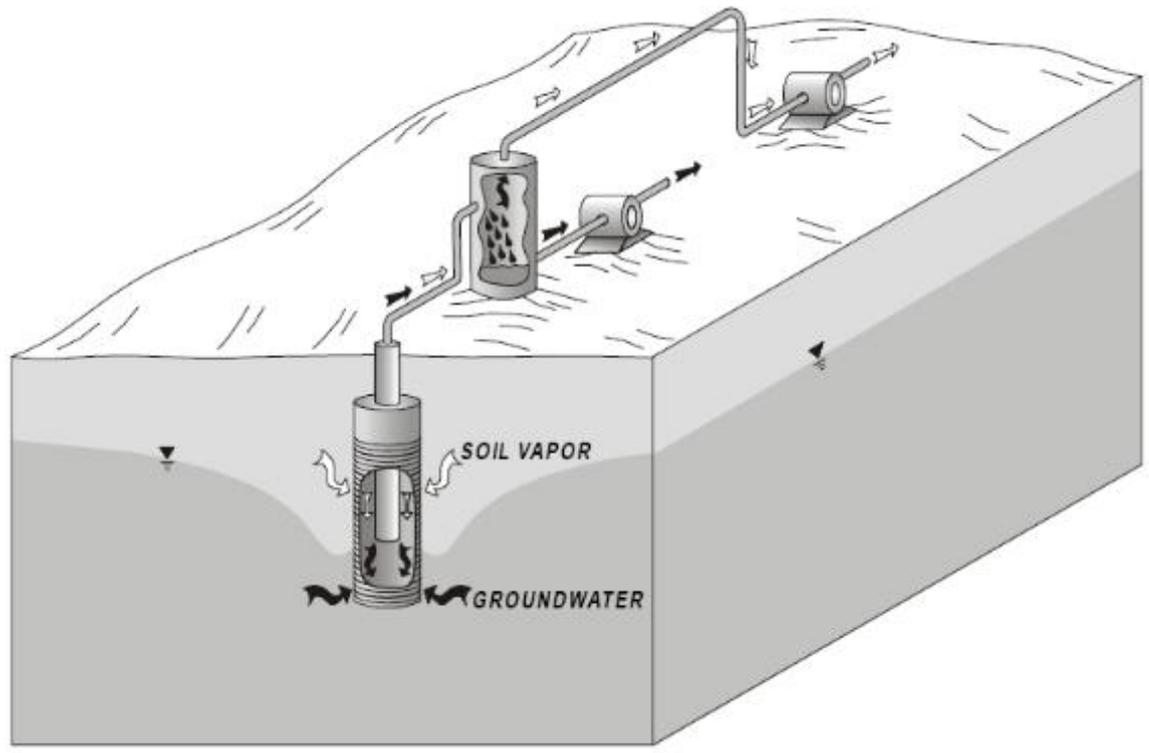


(a)





MPE – Multi Phase Extraction





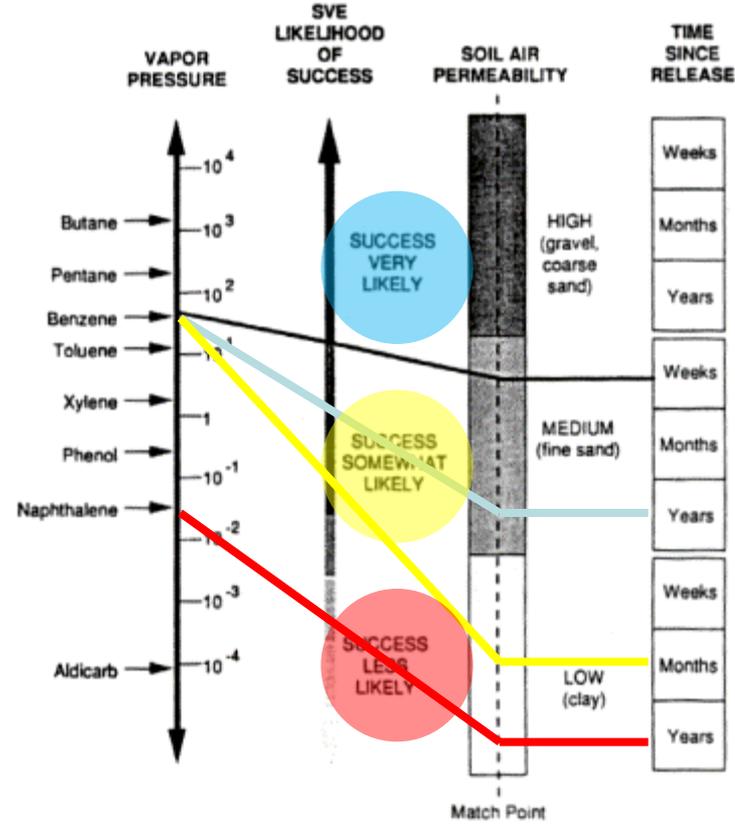
Comparativo de cálculo de massa de remoção de contaminantes Bombeamento x MPE (Fase dissolvida)

Supondo bombeamento diário de 3.000 L de (água subterrânea) x 30 dias x 12 meses com uma concentração média de 5.000 microgramas/Litro de contaminante temos: $3.000 \times 30 \times 12 \times (5.000/1.000.000.000) = 1.080.000$ Litros bombeados x 0,000005 g = **5,4 gramas em um ano**

Considerando o bombeamento de 200 m³/h (vapores do subsolo) x 24 h x 30 dias = 144.000 m³/mês e uma concentração de 300 ppm de compostos voláteis temos a remoção de: **293,1 quilogramas por mês x 12 = 3.516 Kg em um ano**



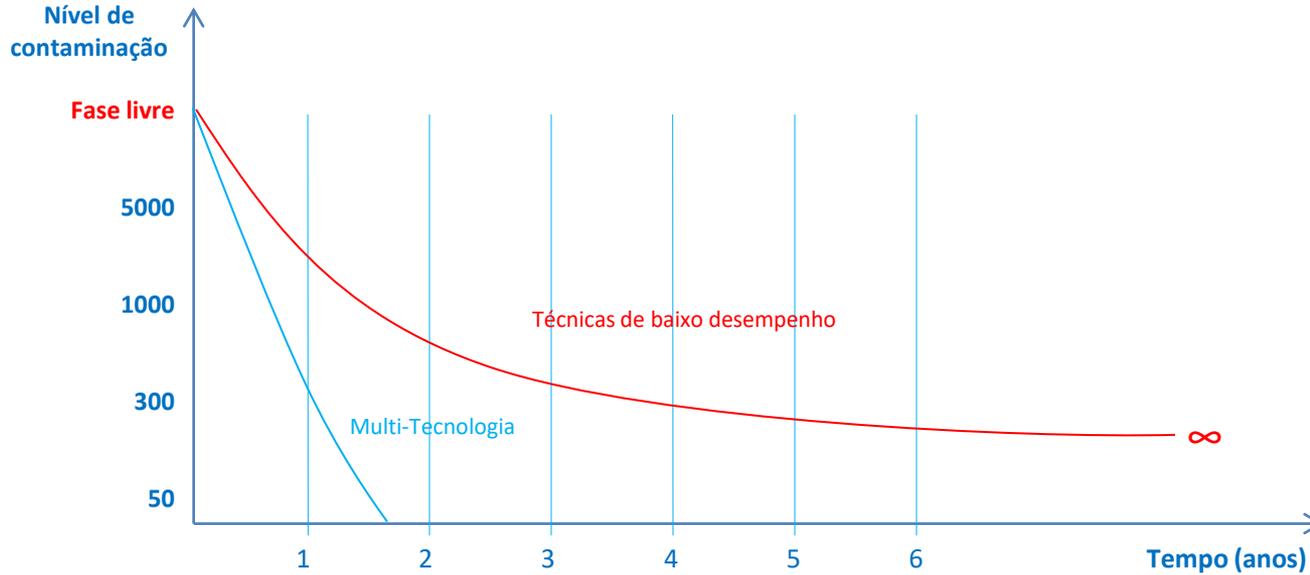
Eficácia X Tipologia do Solo



SVE applicability nomograph.



Estratégia Multi-Tecnologia OU Tecnologias Integradas

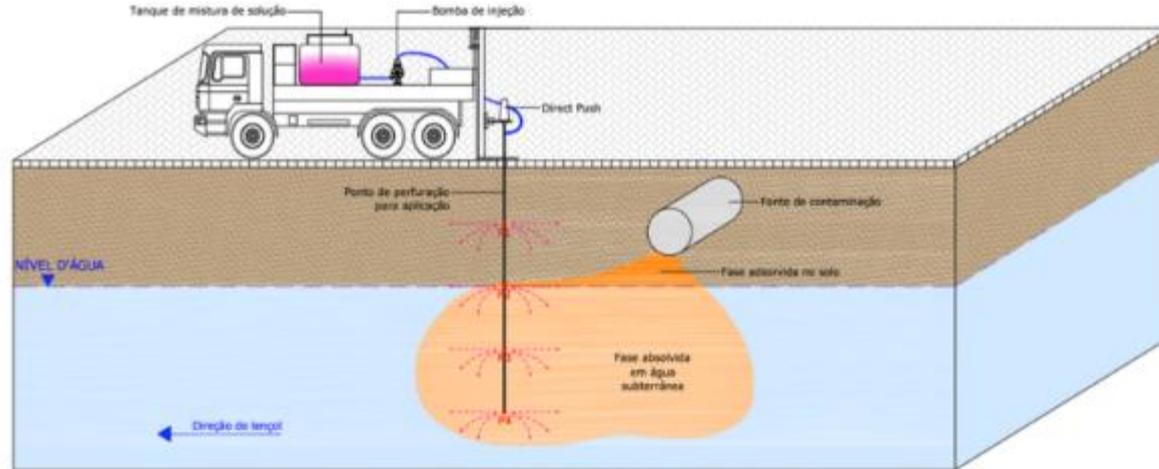




Injeção de Remediadores

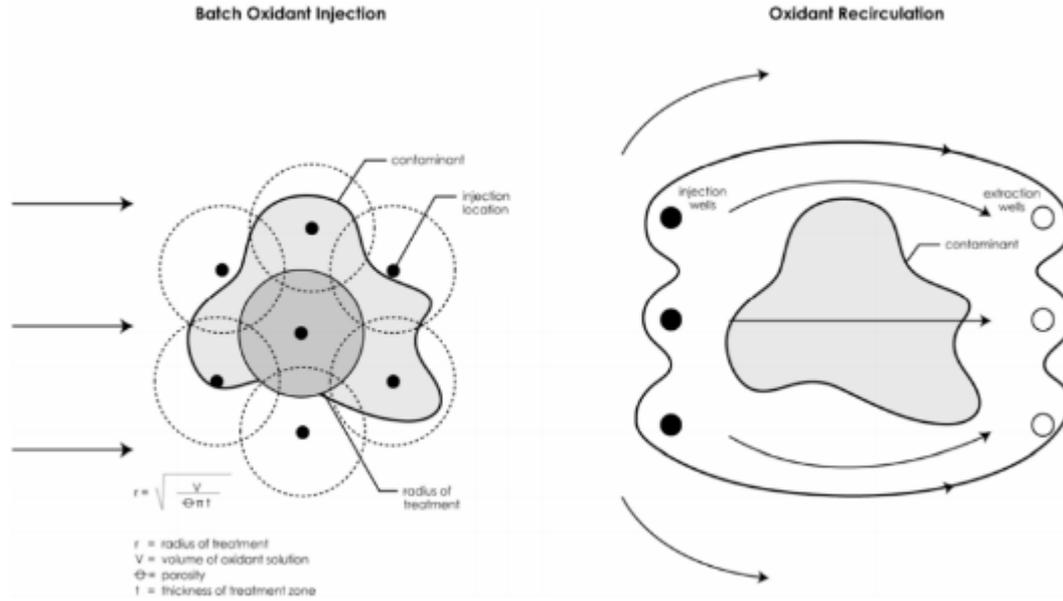


Injeção por Direct Push



A injeção no solo por direct push é mais eficaz pois:

- ✓ Garante melhor distribuição dos produtos remediadores no solo e lençol freático;
- ✓ Permite melhor ação de surfactantes pela técnica de soil flushing (lavagem do solo) em zona vadosa (não saturada);
- ✓ Alcança maior eficácia na oxidação com menor efeito “rebound”.



$$r = \sqrt{\frac{V}{\Theta \pi t}}$$

r = radius of treatment
 V = volume of oxidant solution
 Θ = porosity
 t = thickness of treatment zone

Figure 5-4. Batch versus recirculation.

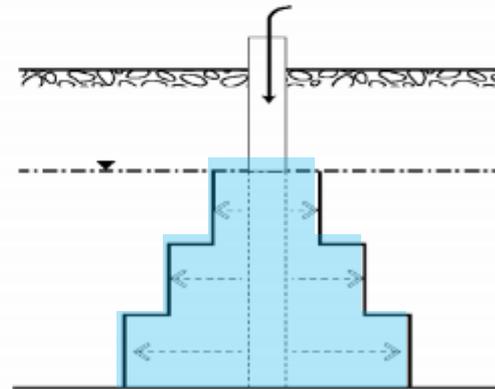
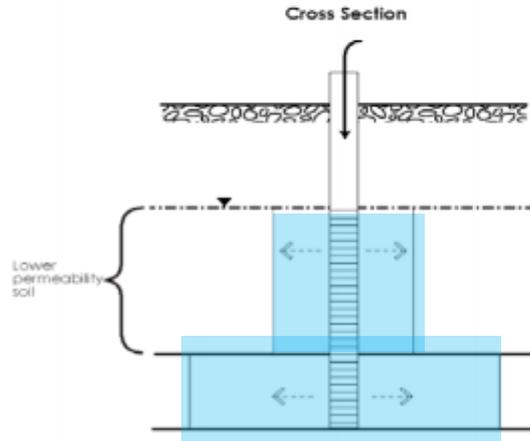
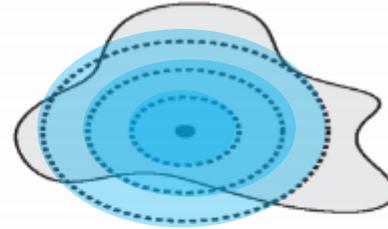
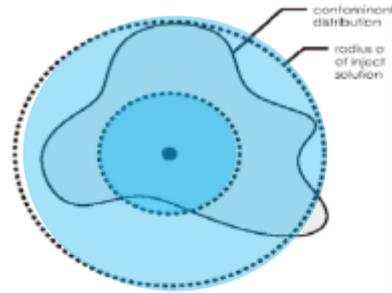
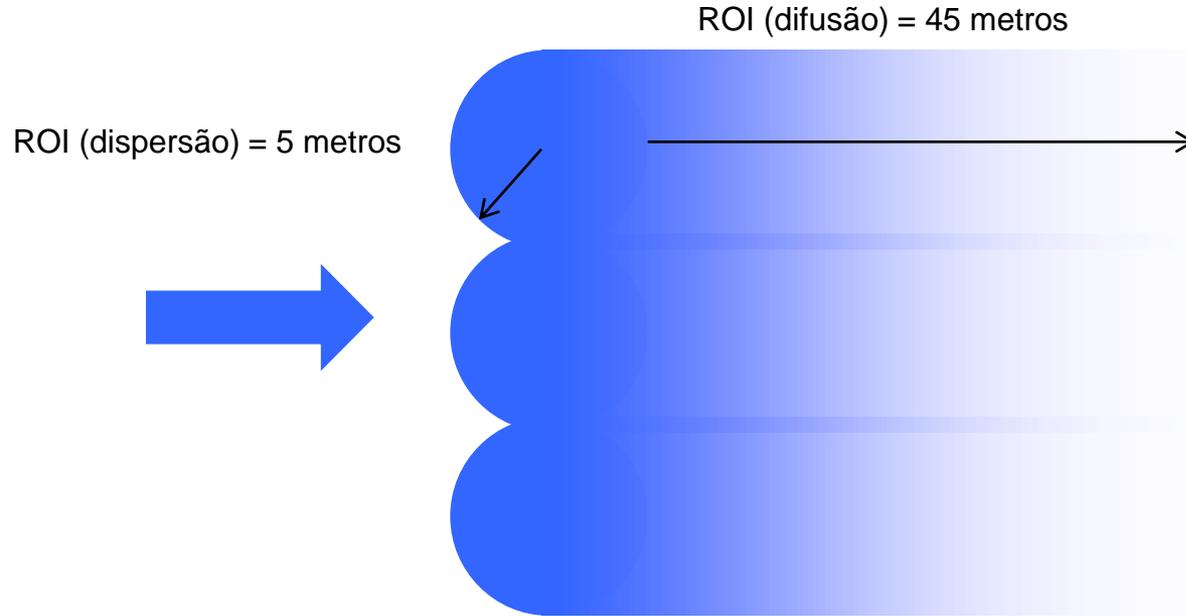


Figure 5-2. Permeability influences.

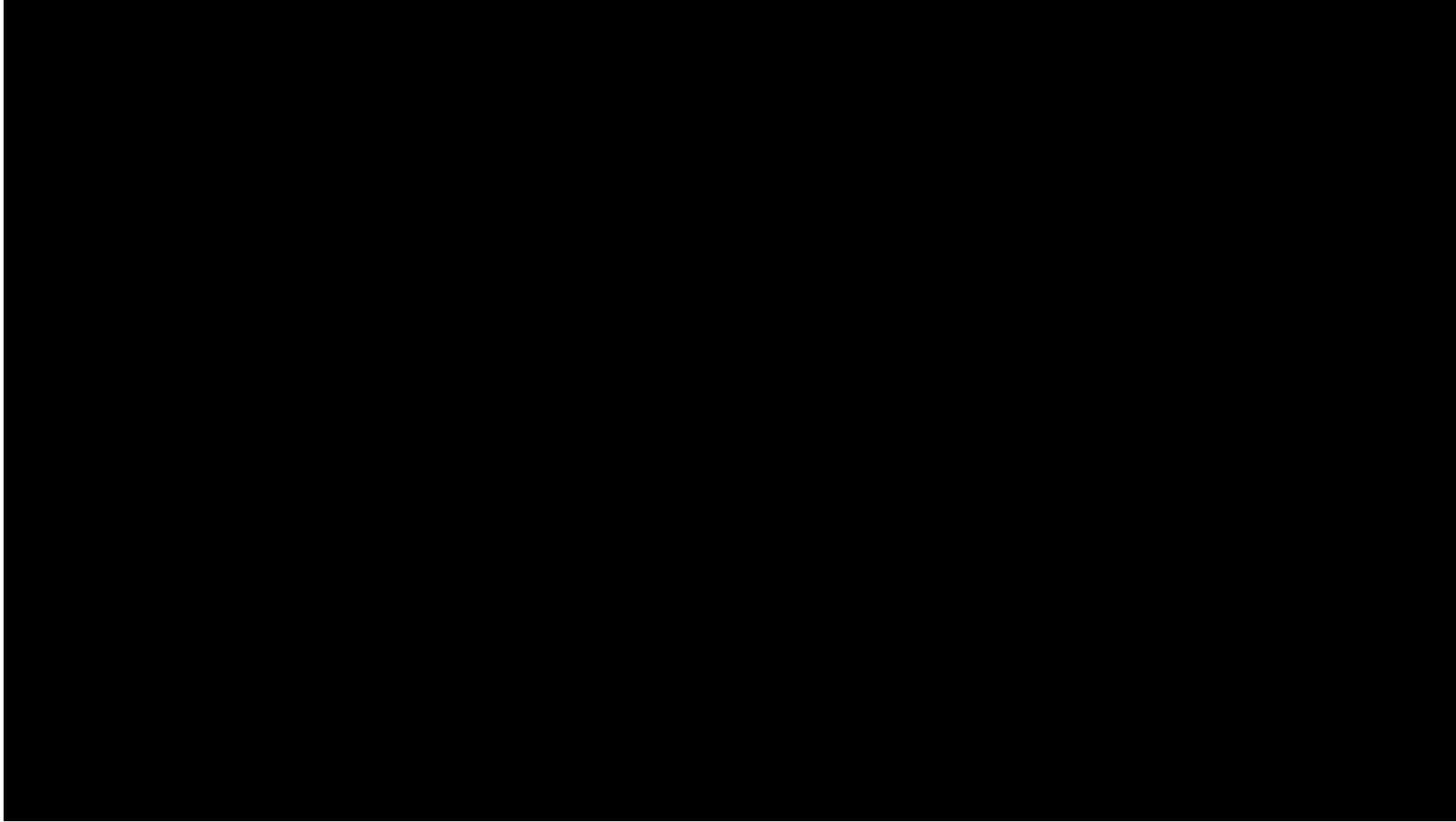
Figure 5-3. Bottom-up injections.



Distância percorrida em função do tempo de meia vida do oxidante:

*Persulfato de sódio: 90 dias fluxo de 0,5 m/dia = 45 metros









Remediação Aprimorada por Surfactantes



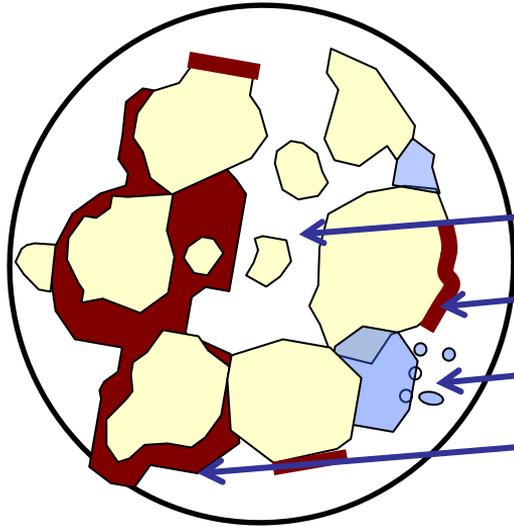


Surfactant Enhanced Product Recovery (SEPR)

- * **Dessorção.**
- * Redução da viscosidade.
- * Redução da tensão superficial.
- * Melhoria da mobilidade

Surfactant-enhanced In Situ Chemical Oxidation (S-ISCO)

- * **Emulsificação.**
- * Redução da viscosidade.
- * Redução da tensão superficial.
- * Melhoria da mobilidade



Suthersan, 1996

- A massa de contaminantes está presente nos seguintes estados:
- Gasoso (soil gas)
- Adsorvido e Absorvido no solo
- Dissolvido
- Fase livre
- **> de 80%** da massa de hidrocarbonetos está nas fases adsorvida e livre.

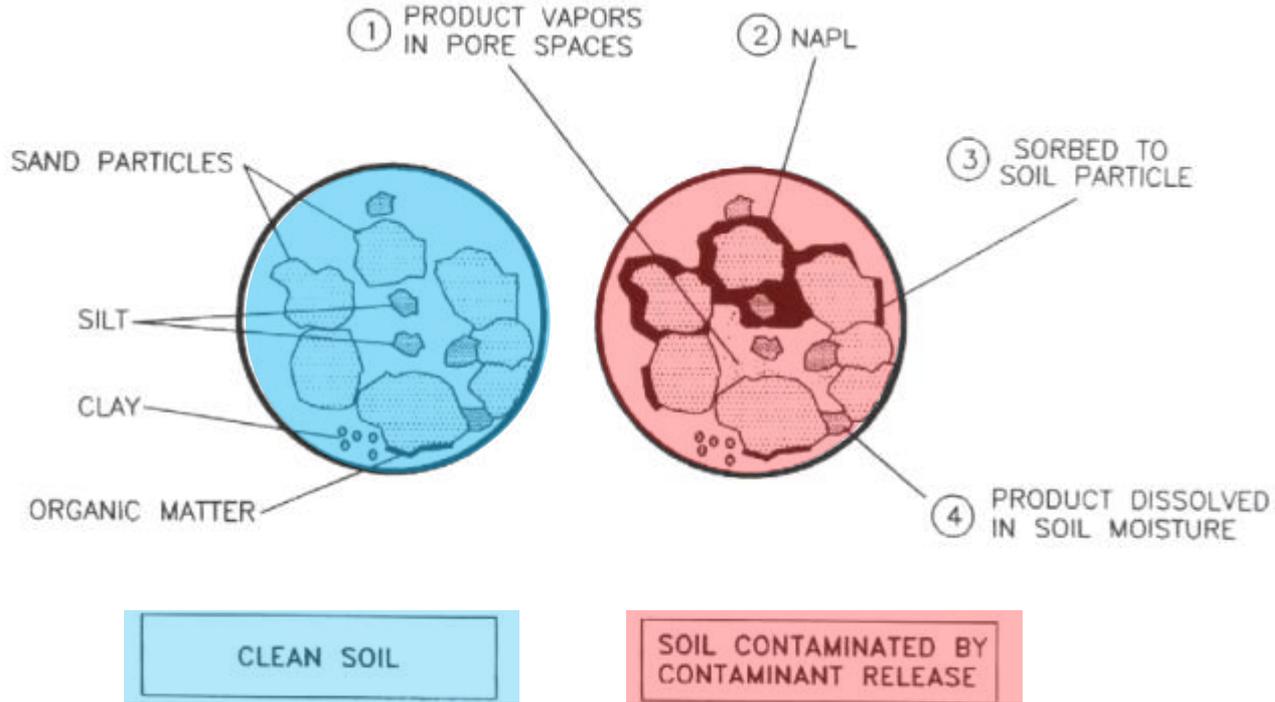
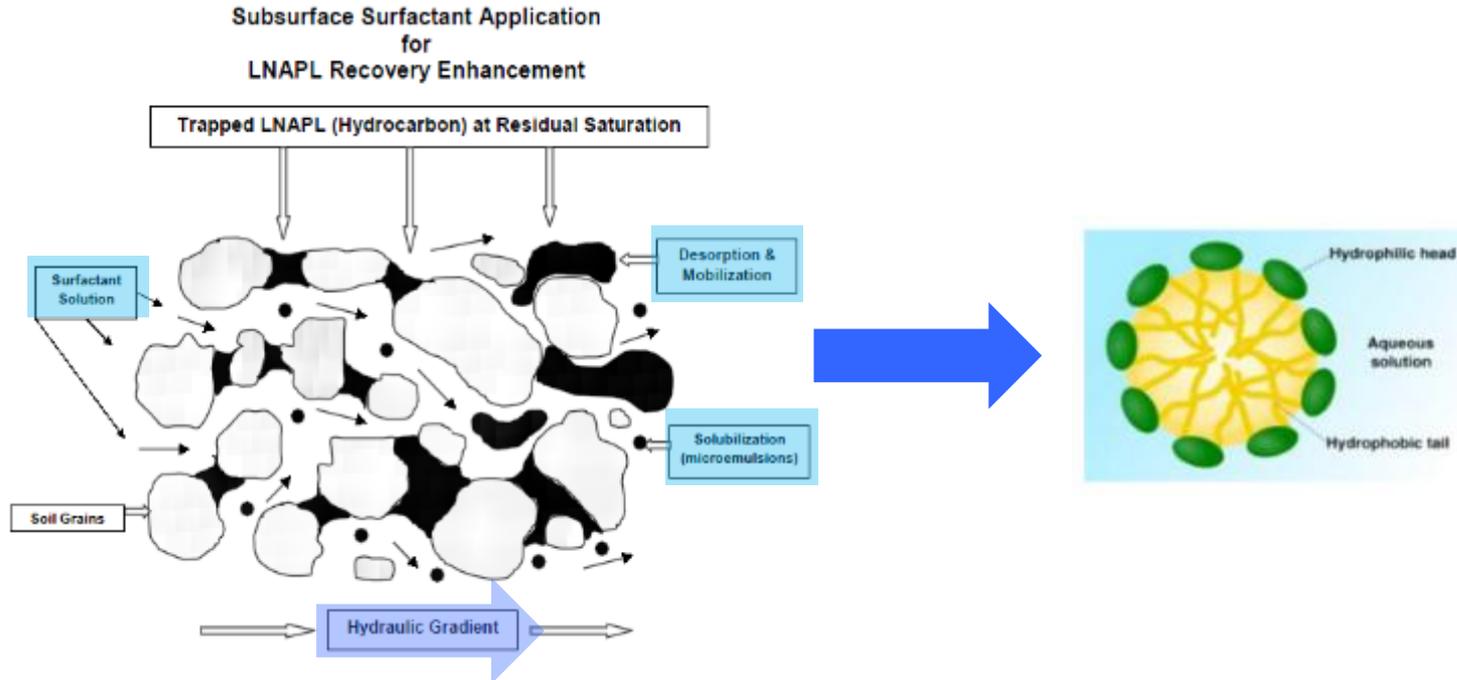


Figure 3.3 Phases of contaminants present in soil matrix.

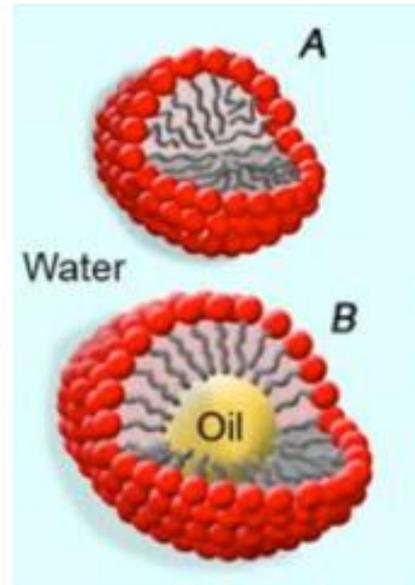
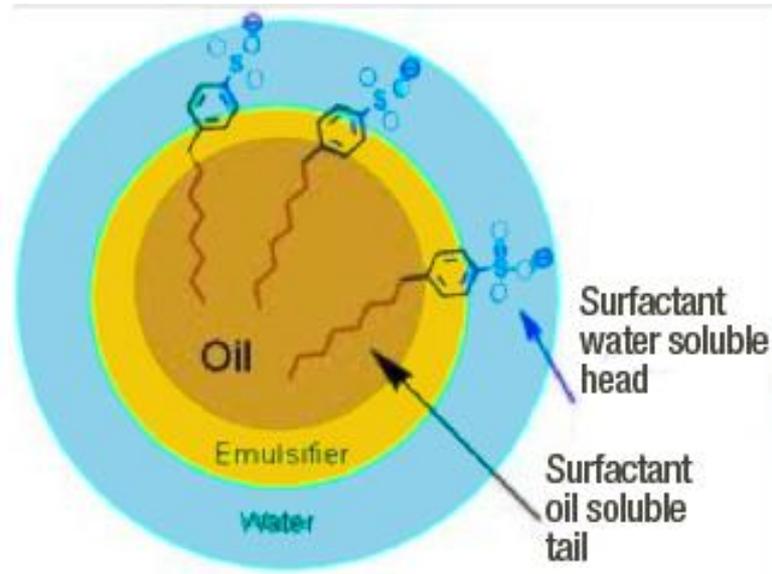


SEPR – Surfactant Enhanced Product Recovery



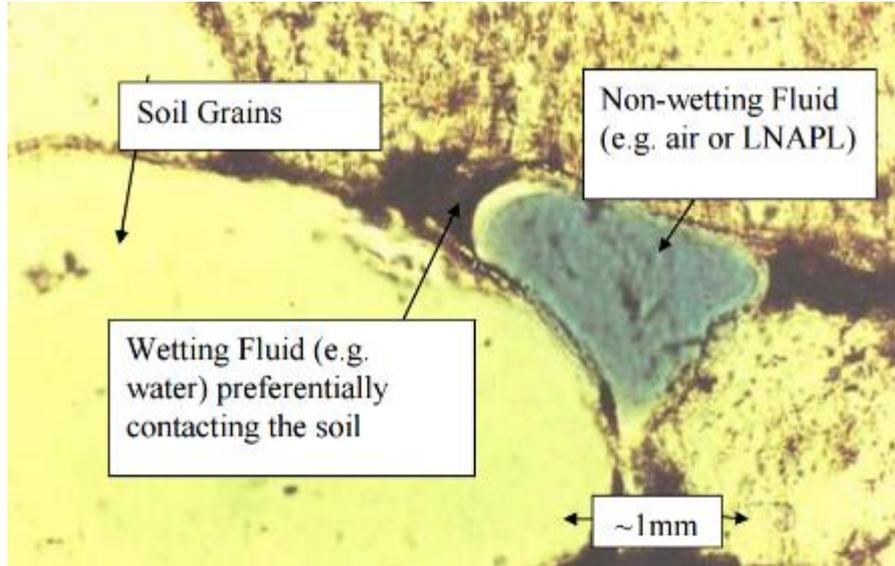


Formação de Micelas e Emulsificação do Hidrocarboneto



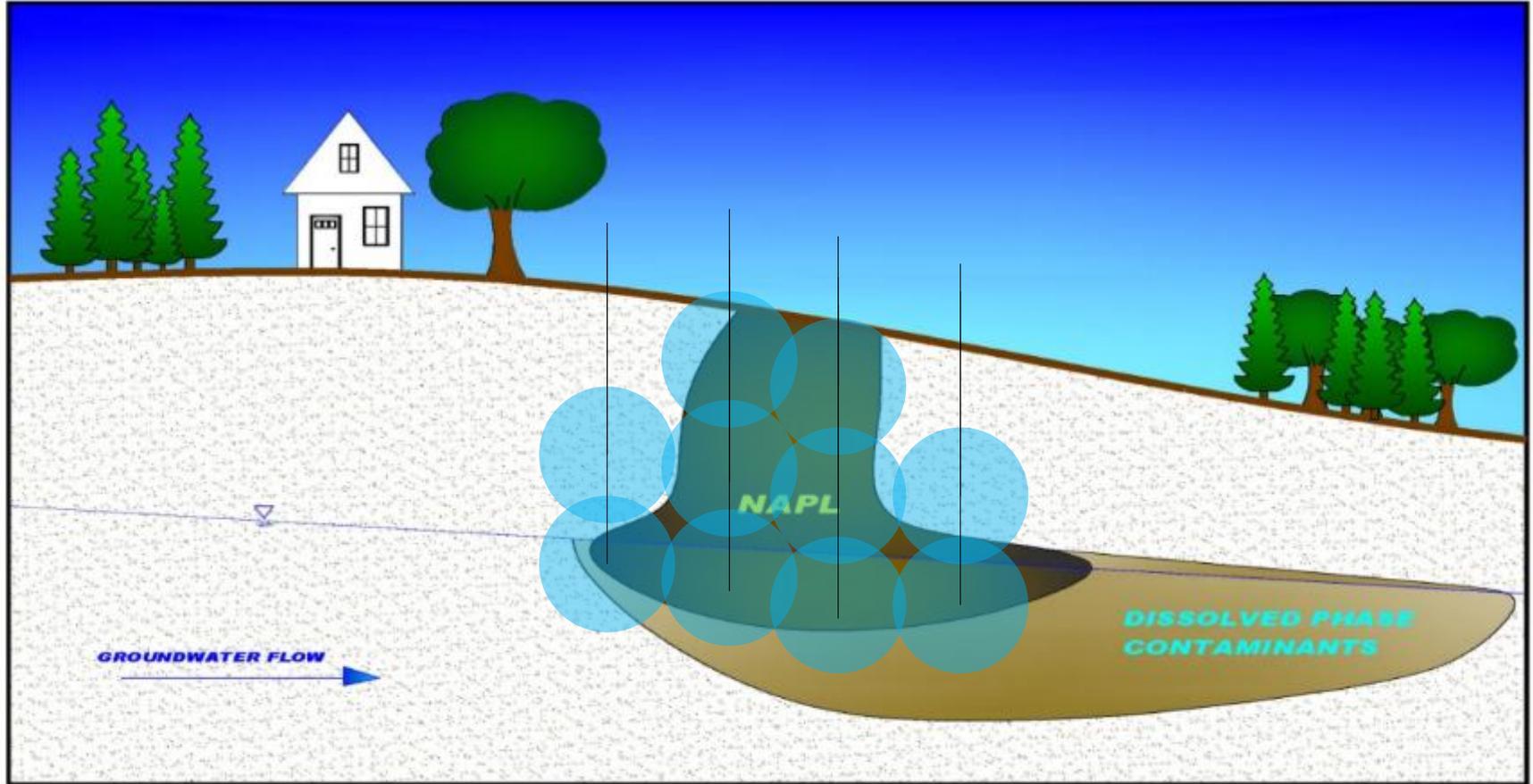


Contaminação trapeada em Smear Zone



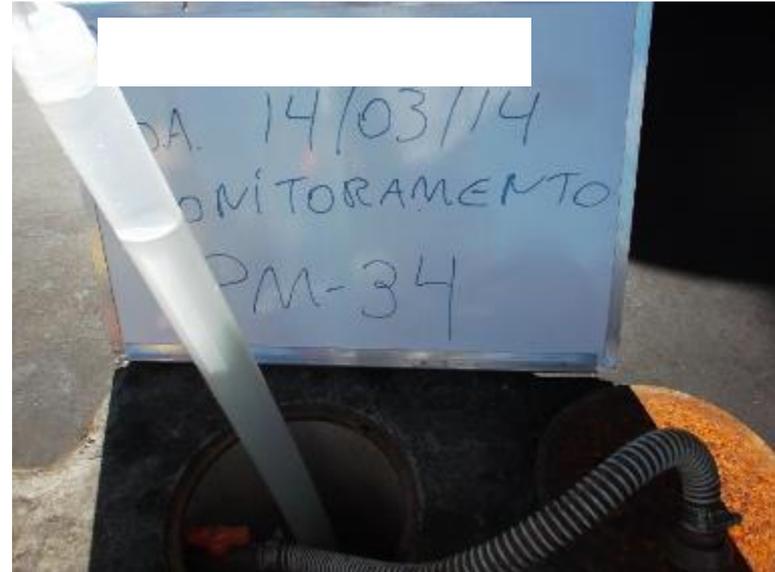
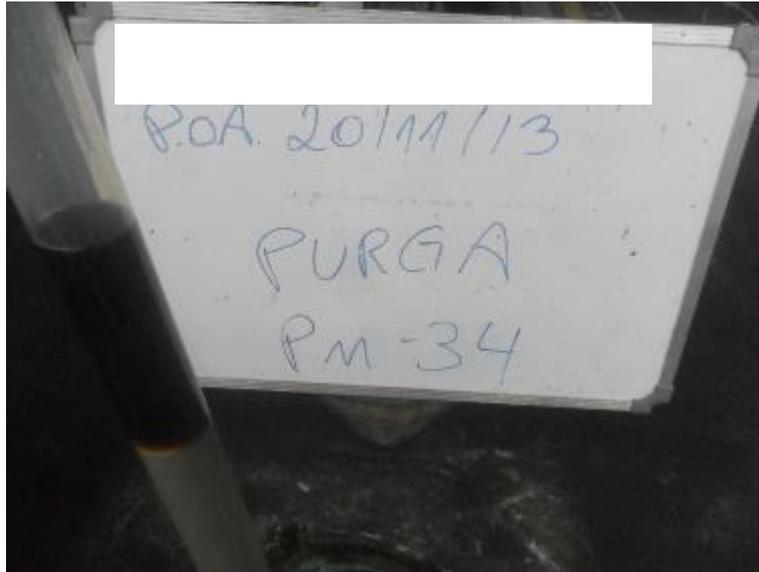
Aplicação







Resultados aplicação de surfactantes





Estequiometria da Oxidação (Balanço de massas)



Quanto é 5 microgramas/L de Benzeno?

Benzeno = C₆H₆

C=12x6=72

H=1x6=6

M molar=78 g/mol

1 mol = 78 g ----- 6,02x10²³

5 / 1.000.000.000 = 5,0x10⁻⁹ gramas ----- x

x = 38.589.743.589.743 moléculas

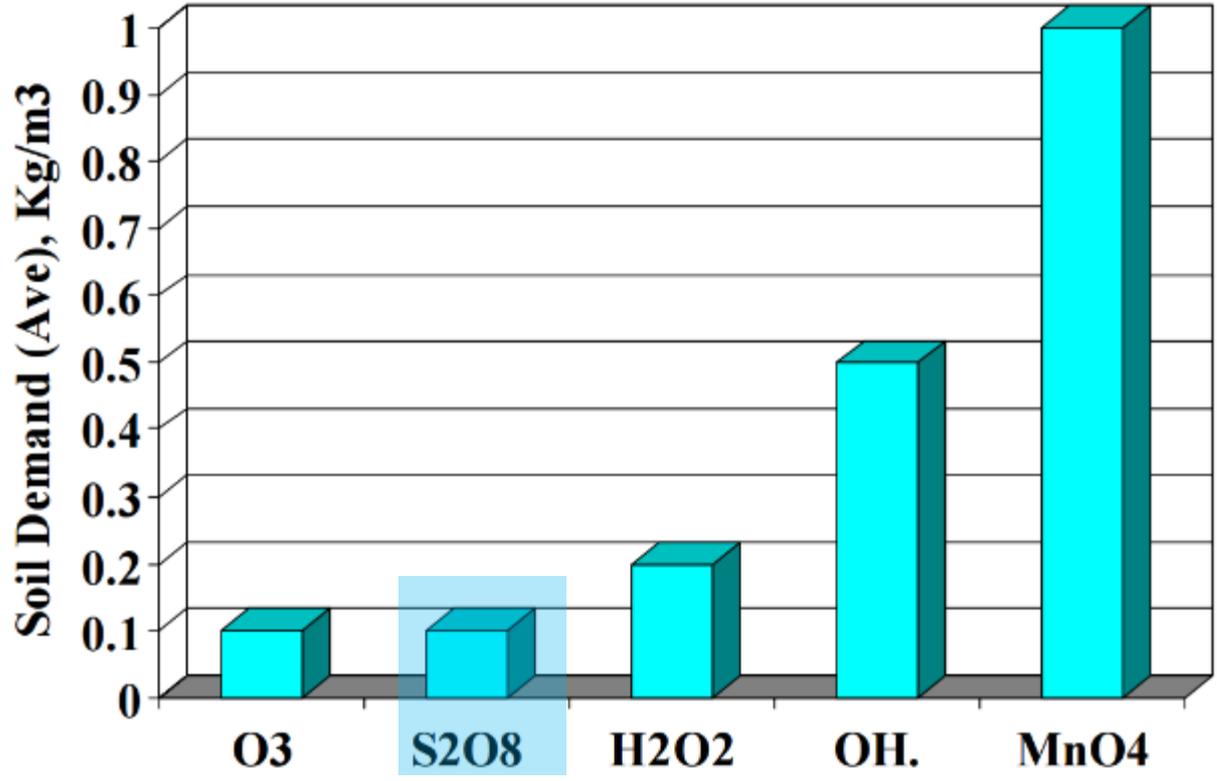
38,5 TRILHÕES de moléculas / Litro

Em um copo de 100 mL ainda são **3,8 TRILHÕES DE MOLÉCULAS**



CÁLCULO DE MASSA DE OXIDANTE DEVE LEVAR EM CONSIDERAÇÃO:

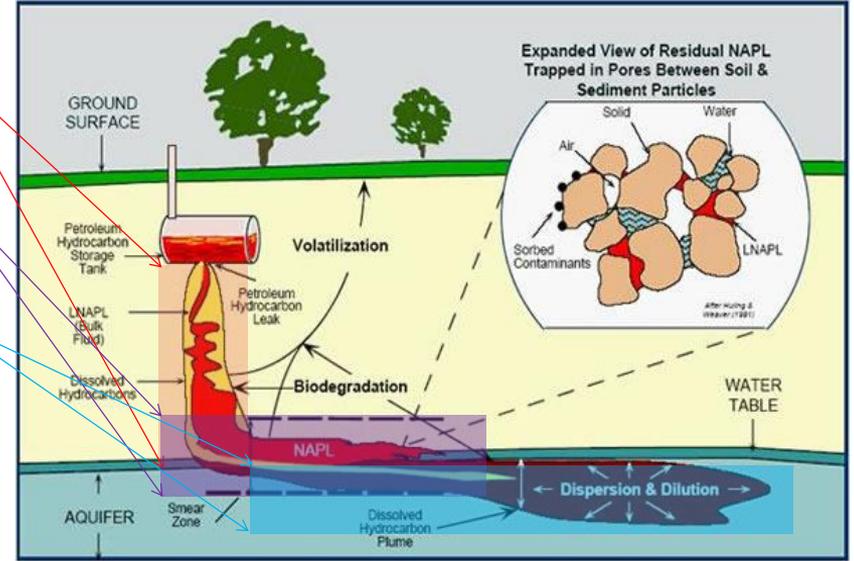
$$M_{oxidante} = \sum [HC_{\text{água}} + HC_{\text{solo}} + HC_{\text{fase livre}}] + [SOD] + [TOC]$$





BALANÇO DE MASSAS - S-ISCO GEOAMBIENTE

| | | |
|--------|----------------|---|
| 0,0 | m | Espessura de solo contaminado em ZONA NÃO SATURADA |
| 0,0 | m ² | Área de solo contaminado em ZONA NÃO SATURADA |
| 0,5 | m | Espessura de solo contaminado EM SMEAR ZONE |
| 500,0 | m ² | Área de solo saturado com contaminante em EM SMEAR ZONE |
| 1,50 | m | Espessura de aquífero contaminado. ZONA SATURADA |
| 1200,0 | m ² | Área do aquífero impactado. ZONA SATURADA |
| 0,0 | 1,0 | Área com FASE LIVRE |
| 11,0% | % | Porosidade Efetiva |
| 40,0% | % | Porosidade Total |





| ESTEQUIOMETRIA SOLO CONTAMINADO | Razão m (oxidante) / m (benzeno) | Concentração (micro g/Kg) | Concentração final (micro g/K) | Massa a ser oxidada (Kg) | Massa de Persulfato (Kg) | Massa de Peróxido de Cálcio (Kg) |
|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------------|
| Benzeno | 3,000 | 771,0 | 38,6 | 0,2607522000 | 16,0 | 8,6 |
| Tolueno | 1,180 | 5980,0 | 299,0 | 2,0224360000 | 48,7 | 26,2 |
| Etilbenzeno | 1,359 | 6000,0 | 300,0 | 2,0292000000 | 56,3 | 30,3 |
| Xilenos | 1,359 | 83030,0 | 4151,5 | 28,0807460000 | 779,0 | 419,8 |
| Naphthalene | 1,641 | 0,0 | 0,0 | - | - | - |
| Acenaphthylene | 1,952 | 0,0 | 0,0 | - | - | - |
| Acenaphthene | 1,974 | 0,0 | 0,0 | - | - | - |
| Fluorene | 2,127 | 0,0 | 0,0 | - | - | - |
| Anthracene | 2,281 | 0,0 | 0,0 | - | - | - |
| Phenanthrene | 2,281 | 0,0 | 0,0 | - | - | - |
| Benzo[a]pyrene | 3,230 | 0,0 | 0,0 | - | - | - |
| TPH (total) | 5,824 | 0,0 | 0,0 | - | - | - |
| | | | MASSA DE OXIDANTES | 32,4 | 899,9 | 485,0 |



| ESTEQUIOMETRIA ÁGUA CONTAMINADA | Razão m (oxidante) / m (benzeno) | Concentração (micro g/Litro) | Concentração final (micro g/Litro) | Massa a ser oxidada (Kg) | Massa de Persulfato (kg) | Massa de + Peróxido (Kg) |
|---------------------------------|----------------------------------|------------------------------|------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Benzeno | 3,000 | 3.138,70 | 156,9 | 0,5903894700 | 36,150 | 19,483 |
| Tolueno | 1,180 | 8.615,20 | 430,8 | 1,6205191200 | 39,015 | 21,027 |
| Etilbenzeno | 1,359 | 2.175,89 | 108,8 | 0,4092849090 | 11,354 | 6,119 |
| Xilenos | 1,359 | 12.136,07 | 606,8 | 2,2827951432 | 63,327 | 34,130 |
| Naphthalene | 1,641 | 764,68 | 38,2 | 0,1438363080 | 4,818 | 2,596 |
| Acenaphthylene | 1,952 | 0,04 | 0,0 | 0,0000075240 | 0,000 | 0,000 |
| Acenaphthene | 1,974 | 0,42 | 0,0 | 0,0000790020 | 0,003 | 0,002 |
| Fluorene | 2,127 | 0,38 | 0,0 | 0,0000714780 | 0,003 | 0,002 |
| Anthracene | 2,281 | 0,07 | 0,0 | 0,0000131670 | 0,001 | 0,000 |
| Phenanthrene | 2,281 | 0,38 | 0,0 | 0,0000714780 | 0,003 | 0,002 |
| Fluoranthene | 2,590 | 0,01 | 0,0 | 0,0000018810 | 0,000 | 0,000 |
| Pyrene | 2,587 | 0,05 | 0,0 | 0,0000094050 | 0,000 | 0,000 |
| Benz[a]anthracene | 2,922 | 0,01 | 0,0 | 0,0000018810 | 0,000 | 0,000 |
| Chrysene | 2,922 | 0,01 | 0,0 | 0,0000018810 | 0,000 | 0,000 |
| | | | MASSA DE OXIDANTES | 5,0 | 154,675 | 83,362 |



| | | | CÁLCULO MASSA DE FASE LIVRE | | |
|--------------|--------|---|--|----|------------------------------------|
| 1,36E-04 | cm/s | Condutividade Hidráulica | | | |
| 0,00 | m/ano | Velocidade do fluxo d'água subterrânea | 11,0% | % | Porosidade Efetiva |
| 1,6 | t/m³ | Densidade do solo local | 0,0 | m² | Área Impactada com fase livre (m²) |
| 10 | m | Raio de influência estimado ou determinado em campo | Espessuras de Fase Livre Medidas no site | | |
| 2,00% | % | Fração orgânica no solo | 0,000 | m | Poço 1 |
| 0,65 | g/Kg | SOD/NOD considerado | 0,000 | m | Poço 2 |
| 95,00% | % | Meta | 0,000 | m | Poço 3 |
| 16,00% | % | Conteúdo volumétrico ZONA NÃO SATURADA | 0,000 | m | Poço 4 |
| 24,00% | % | Conteúdo volumétrico em ZONA NÃO SATURADA | 0,000 | m | Poço 5 |
| - | Kg | Massa de solo impactado em ZONA NÃO SATURADA | 0,000 | m | Poço 6 |
| 356.000,00 | Kg | Massa de solo impactado em SMEAR ZONE | 0,000 | m | Poço 7 |
| 1.500.000,00 | Kg | Massa de solo impactado em ZONA SATURADA (LENÇOL) | 0,000 | m | |
| 198.000,00 | L | Volume de água contaminada ZONA SATURADA | 0,000000 | m | Espessura real (m) |
| 21,65 | pontos | Pontos de injeção | 0,000 | L | Volume de fase livre (m³) |



| (MASSA DE OXIDANTES) X (ESTEQUIOMETRIA) | | |
|--|-----------|--|
| 692,48 | Kg | Massa de oxidantes para contaminantes em solo + smear zone |
| 119,02 | Kg | Massa de oxidantes para contaminantes em água |
| 185,60 | Kg | Massa de oxidantes para matéria orgânica do solo |
| - | Kg | Massa de oxidantes para fase livre |
| 1.206,40 | Kg | Massa para SOD |
| 2.203,50 | Kg | MASSA TOTAL DE OXIDANTES |

> 50 %



Exhibit XIII-7 Organic Compound Oxidation Stoichiometry

| Petroleum Hydrocarbon | Oxidation Reaction | Oxygen Requirement (g O ₂ per g Contaminant) |
|-----------------------|---|---|
| MTBE | $C_5H_{12}O + 7.5 O_2 \rightarrow 5CO_2 + 6H_2O$ | 2.7 |
| Benzene | $C_6H_6 + 7.5 O_2 \rightarrow CO_2 + 3H_2O$ | 3.1 |
| Toluene | $C_6H_5CH_3 + 9 O_2 \rightarrow 7CO_2 + 4H_2O$ | 3.1 |
| Ethylbenzene | $C_2H_5C_6H_5 + 10.5 O_2 \rightarrow 8CO_2 + 5H_2O$ | 3.2 |
| Xylenes | $C_6H_4(CH_3)_2 + 10.5 O_2 \rightarrow 8CO_2 + 5H_2O$ | 3.2 |
| Cumene | $C_6H_5C_3H_7 + 12O_2 \rightarrow 9 CO_2 + 6H_2O$ | 3.2 |
| Naphthalene | $C_{10}H_8 + 12O_2 \rightarrow 10CO_2 + 4H_2O$ | 3.0 |
| Fluorene | $C_{13}H_{10} + 15.5O_2 \rightarrow 13CO_2 + 5H_2O$ | 3.0 |
| Phenanthrene | $C_{14}H_{10} + 16.5O_2 \rightarrow 14CO_2 + 5H_2O$ | 3.0 |
| Hexane | $C_6H_{14} + 9.5 O_2 \rightarrow 6CO_2 + 7H_2O$ | 3.5 |



Exhibit XIII-11
Relative Power of Chemical Oxidants⁴

| Compound | Oxidation Potential (volts) | Relative Oxidizing Power (Cl₂ = 1.0) |
|-------------------|------------------------------------|--|
| Hydroxyl Radical | 2.8 | 2.1 |
| Sulfate Radical | 2.6 | 1.9 |
| Ozone | 2.1 | 1.5 |
| Hydrogen Peroxide | 1.8 | 1.3 |
| Permanganate | 1.7 | 1.2 |
| Chlorine Dioxide | 1.5 | 1.1 |
| Chlorine | 1.4 | 1.0 |
| Oxygen | 1.2 | 0.90 |
| Bromine | 1.1 | 0.80 |
| Iodine | 0.76 | 0.54 |



S-ISCO Oxidação Aprimorada por Surfactante



O que queima mais fácil ?





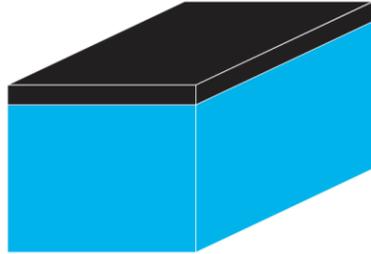
↑ Superfície de contato



↑ Velocidade da reação



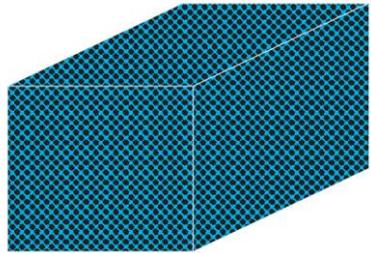
Influência surfactante no aumento da área superficial de contato



Volume = $500 \text{ cm}^3 = 0,5 \text{ Litro}$

Considerando espessura Fase Livre = $0,5 \text{ cm} = 50 \text{ cm}^3 = 50 \text{ mL}$

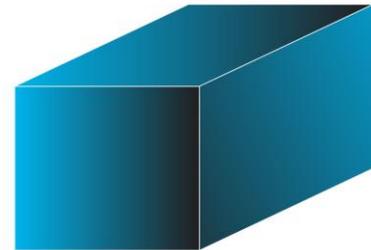
Área superficial = 220 cm^2



Emulsão com gotículas de 1 milímetro

Área superficial = 91.440 cm^2

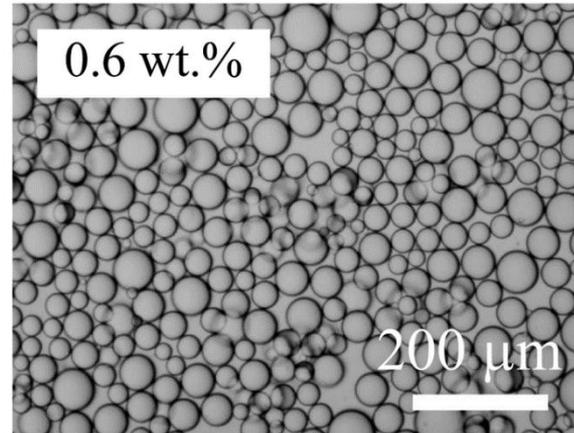
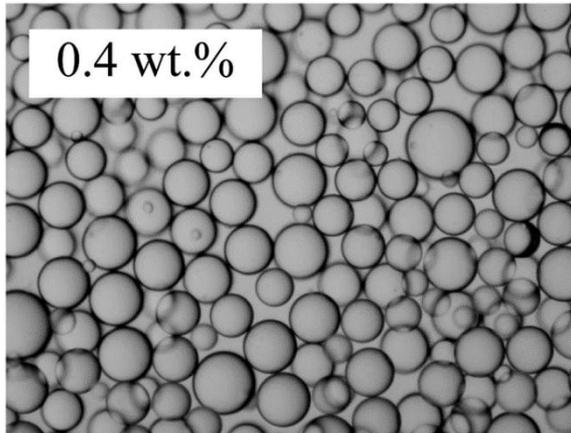
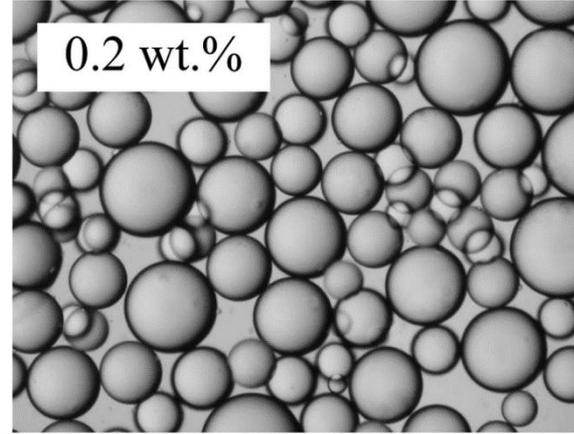
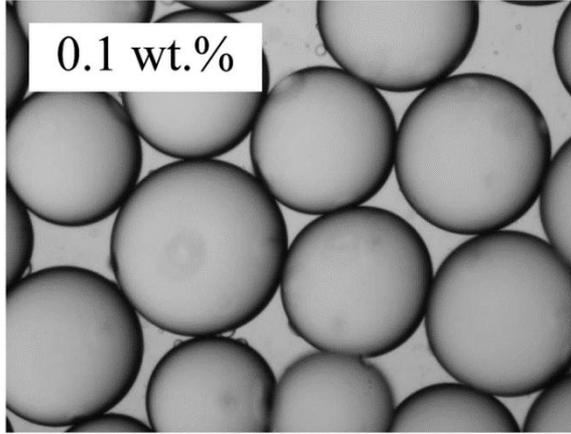
Área de contato = aumento de 415 vezes



Emulsão com gotículas de 1 micrômetro

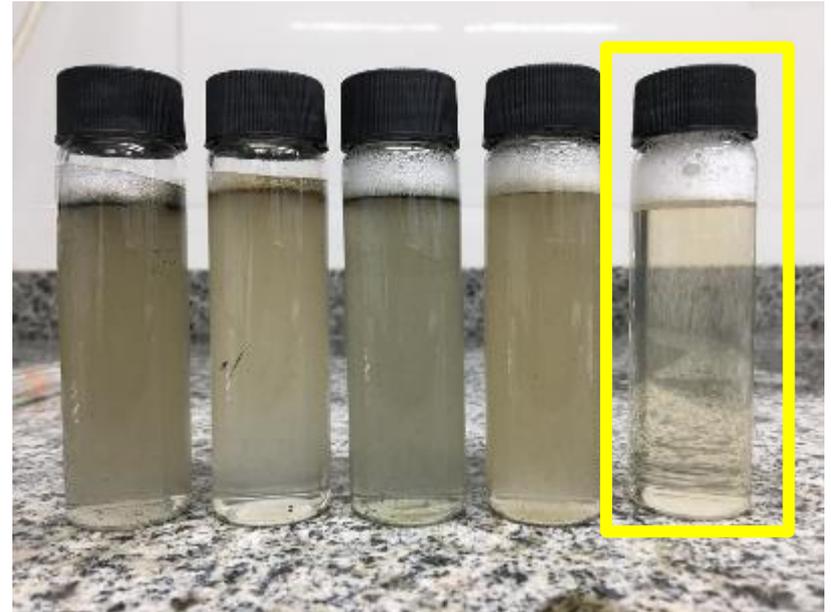
Área superficial = $91.493.000 \text{ cm}^2$

Área de contato = aumento de **415.877** vezes !!!



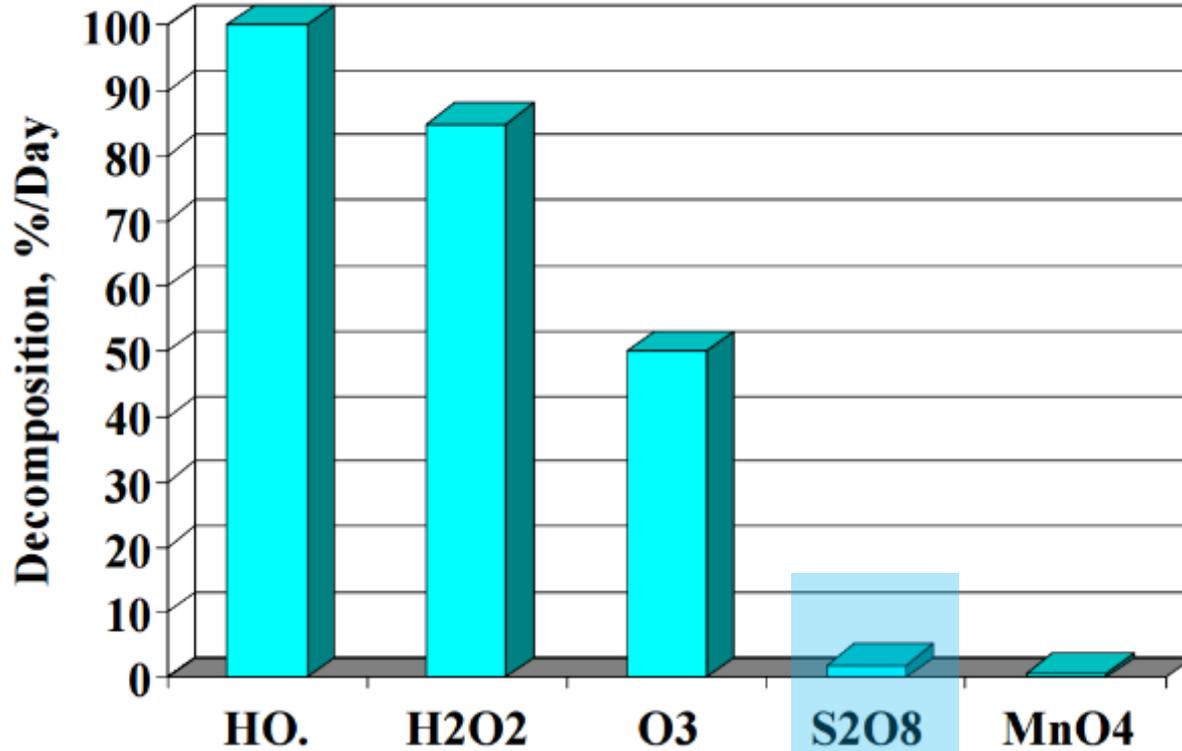


Ensaio de Bancada (SISCO)



- *Surfactante não iônico prontamente Biodegradável
- *Produzido a partir de produtos naturais



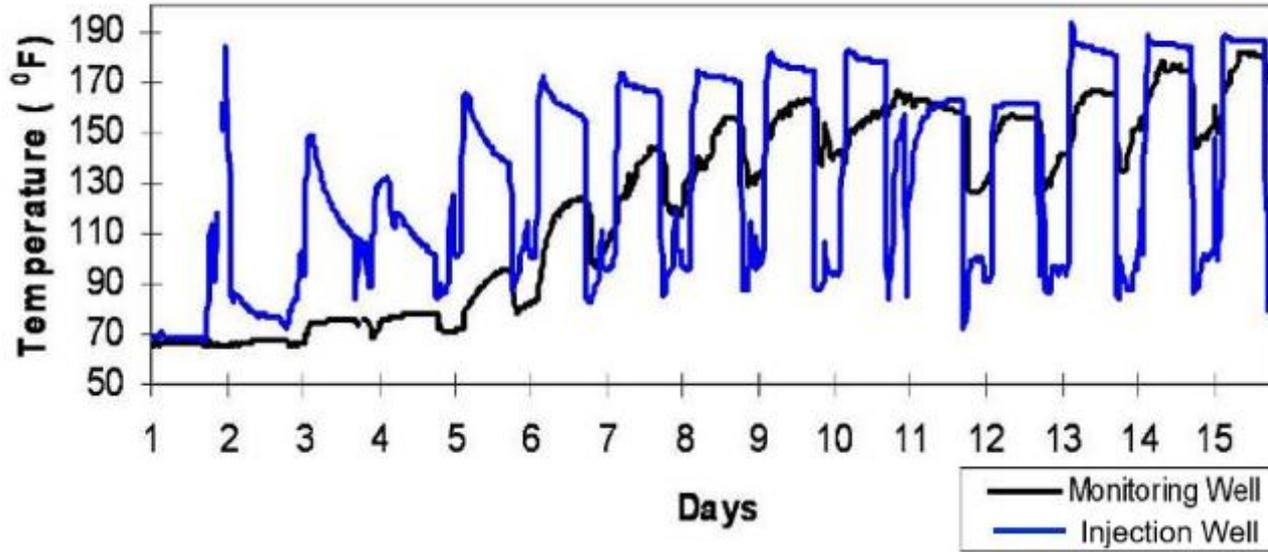




O que não queremos! Oxidações incompletas e outros riscos associados.



Daily Peroxide Injections



*Tempo de meia vida do peróxido de hidrogênio: Horas
REQUER DIVERSAS APLICAÇÕES!!!



Desvantagens do uso de peróxido de hidrogênio e fenton:

- Geração de calor (reação exotérmica).
- Geração de gases.
- Risco de explosão em presença de fase livre não emulsionada.
- Tempo de meia vida muito baixo (horas).
- Risco operacional (queimaduras).







Exemplos de uso de Multi-Tecnologias para Remediação.





Remediação Ambiental





Injeção Surfactantes biodegradáveis e aniônicos.

- SEAR (Surfactant Enhanced Aquifer Remediation)
- SEPR (Surfactant Enhanced Product Recovery)



- MPE
- SEAR
- S-ISCO



Resolução CONAMA 463/2014 - Dispõe sobre o controle ambiental de produtos destinados à remediação

*PeroxyGEO (PERÓXIDO DE CÁLCIO)

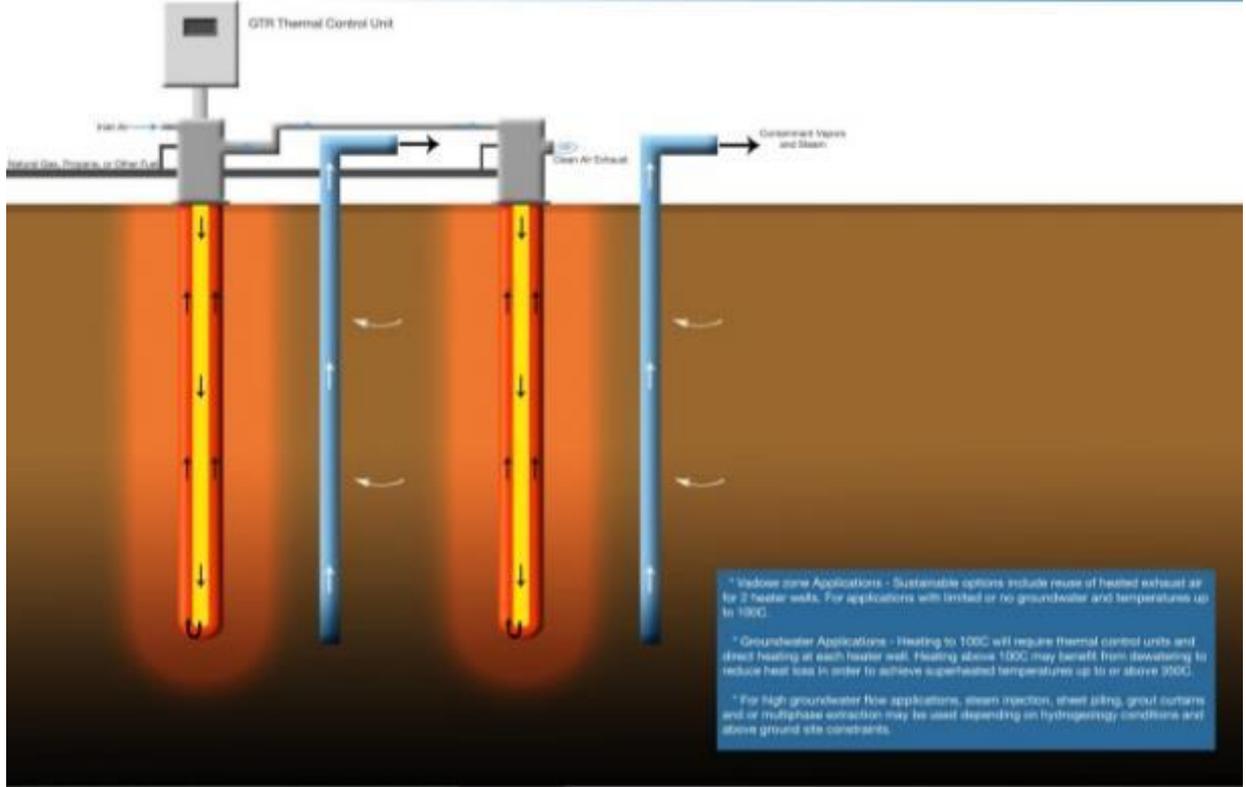
*PersulGEO (PERSULFATO DE SÓDIO)



Remediação Térmica



GEO Environmental Remediation Company Gas Thermal Remediation (GTR) TCH





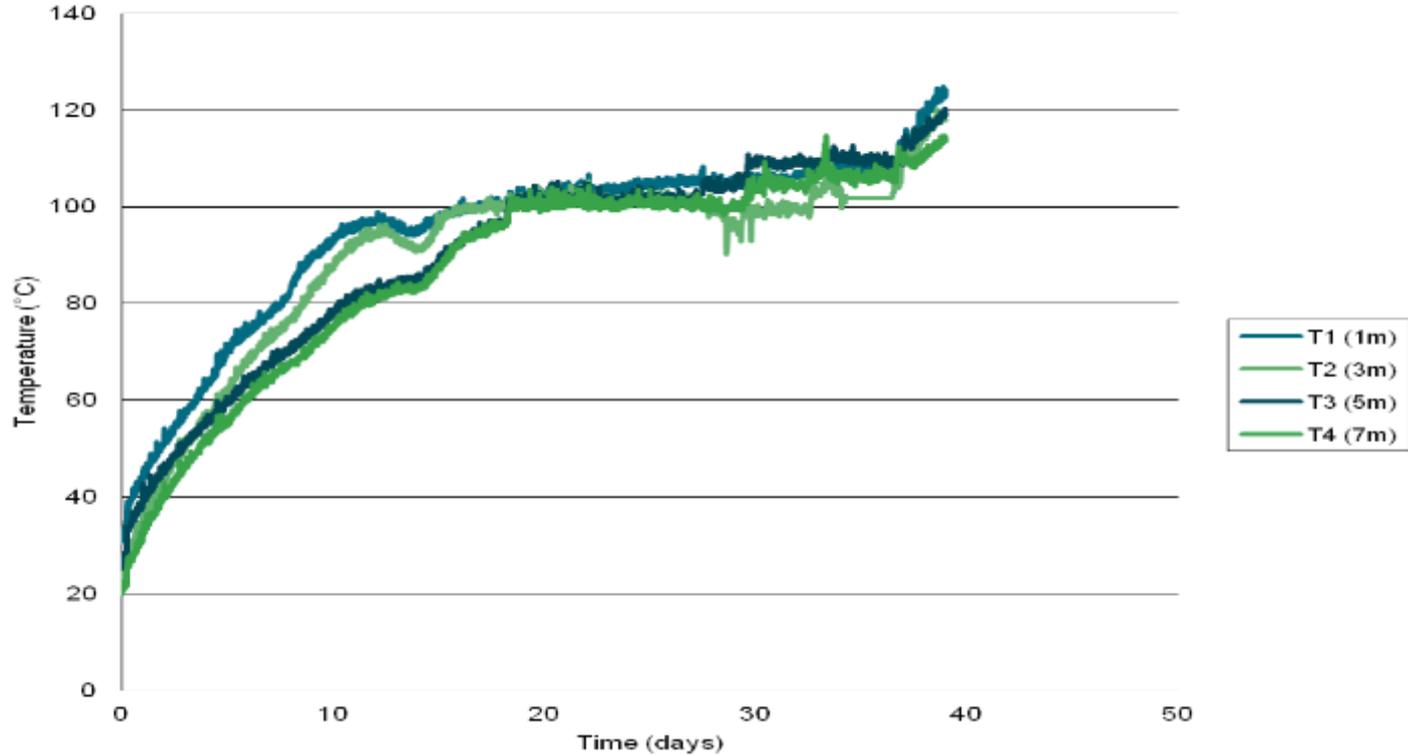
Remediação Térmica In Situ





Remediação Térmica a Gás

Soil Temperature Evolution (Project Averages)





Remediação Ambiental



LABGEO®

Laboratório de Pesquisa e Desenvolvimento

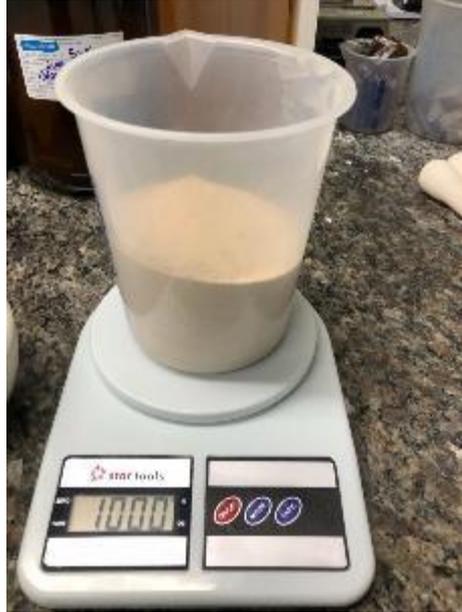


Ensaio de Bancada (SISCO)





Ensaio de Bancada (SEAR)



2º WORKSHOP PARANAENSE DE ÁREAS CONTAMINADAS



CG/MS 7890B e CG/FID 6890 – VOC's (BTEX)

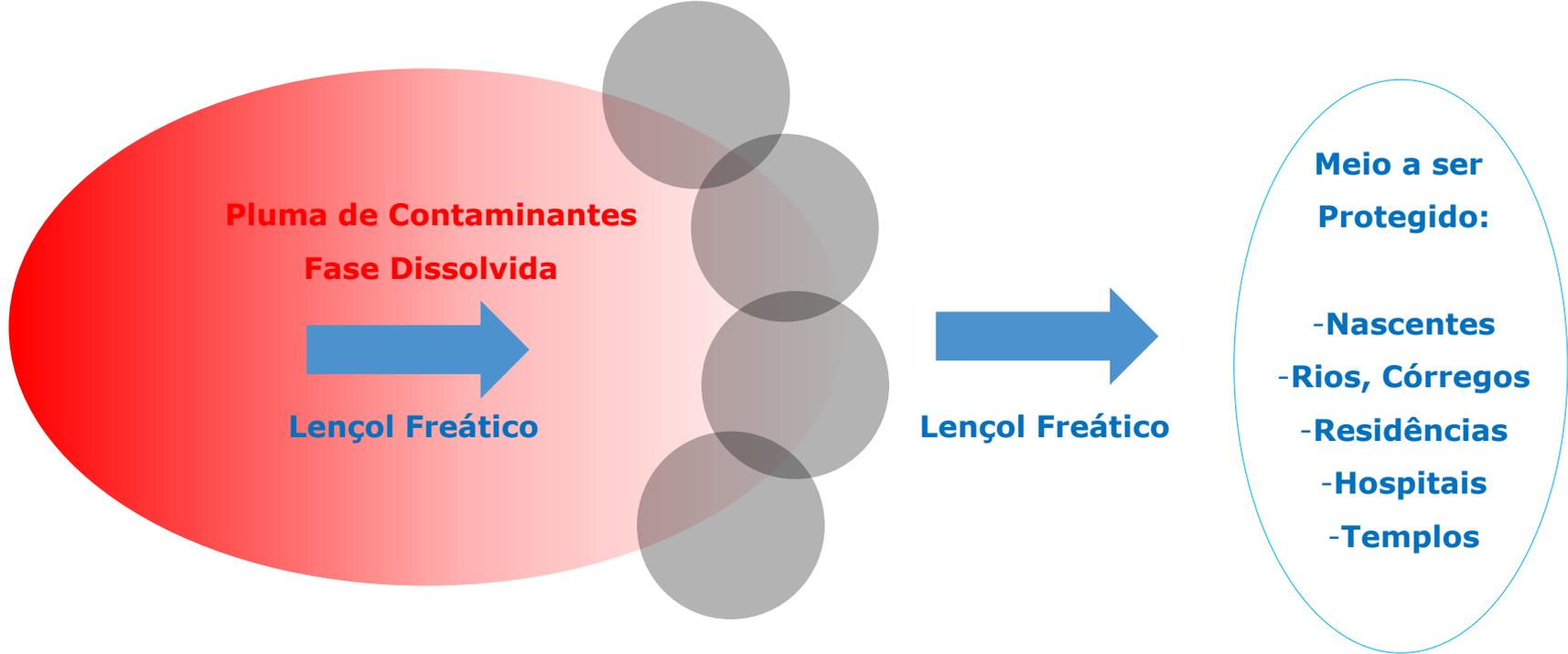


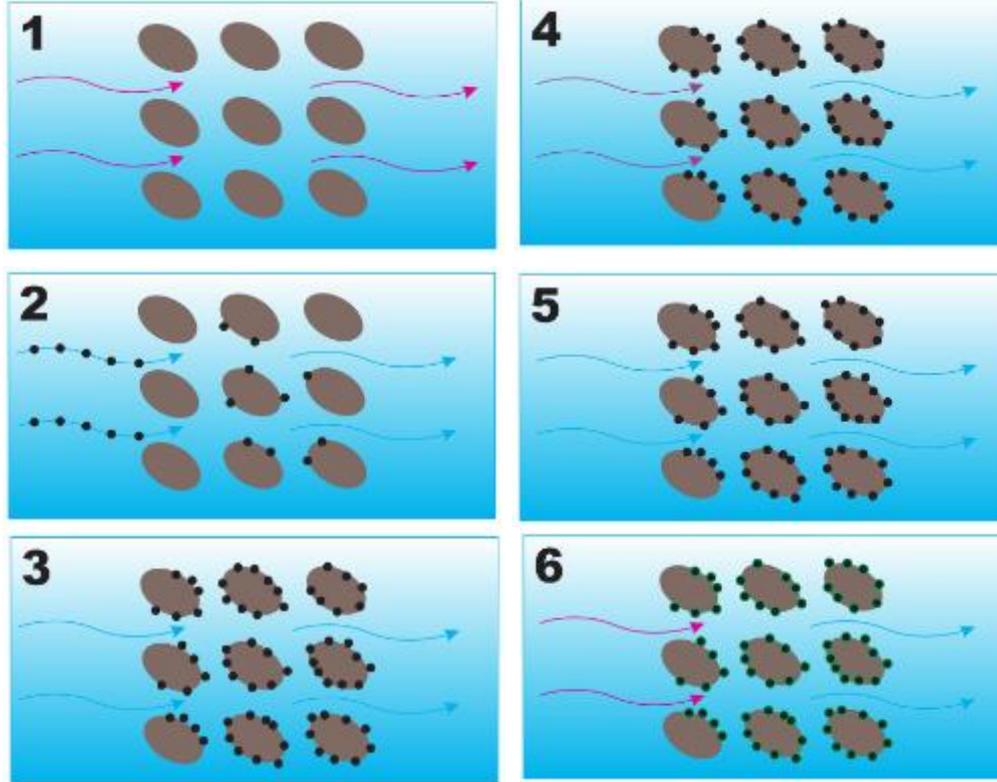


CG/MS 7890B e CG/FID 6890 – PAH's / TPH's



2º WORKSHOP PARANAENSE DE ÁREAS CONTAMINADAS







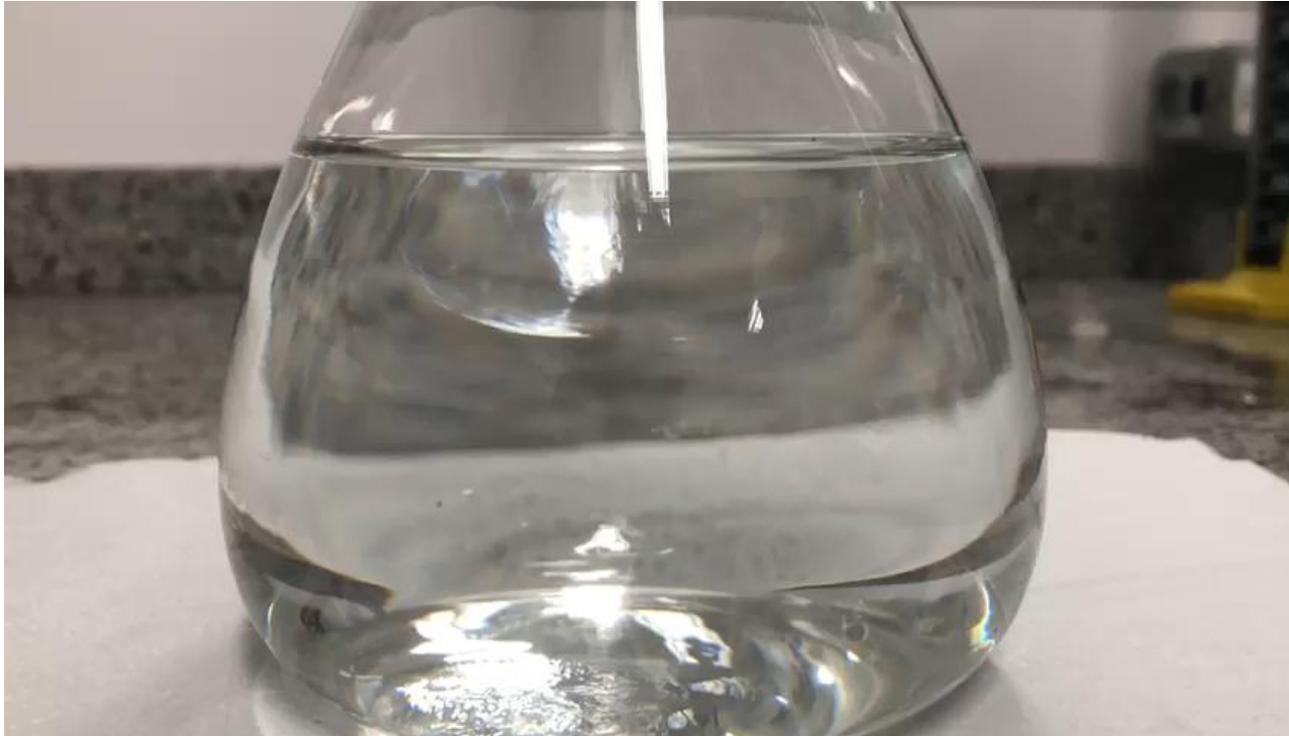
Ensaio de Bancada (Adsorção BHI)



2º WORKSHOP PARANAENSE DE ÁREAS CONTAMINADAS



BHI* (Patente Requerida)





If any one intentionally pollutes the water of another, whether the water of a spring, or collected in reservoirs, either by poisonous substances, or by digging or by theft, let the injured party bring the cause before the wardens of the city, and claim in writing the value of the loss; if the accused be found guilty of injuring the water by deleterious substances, let him not only pay damages, but purify the stream or the cistern which contains the water, in such manner as the laws of the interpreters order the purification to be made by the offender in each case.

Laws by Plato, 360 BC

Se alguém intencionalmente poluir a água de outro, seja a água de uma nascente, seja ela coletada em reservatórios, seja por substâncias venenosas, seja por escavação ou por roubo, deixe a parte lesada trazer a causa aos guardiões da cidade, e reivindique por escrito o valor da perda, se o acusado for considerado culpado de ferir a água por substâncias prejudiciais, que ele não apenas pague pelos danos, mas purifique o rio ou a cisterna que contém a água, da mesma maneira que os intérpretes ordenarem a purificação para ser feita pelo infrator em cada caso.

Leis de Platão, 360 Antes de Cristo.



MENU Conheça n
Atend

terra SERVIÇOS CONSTRUTOR DE SITES ANTIVÍRUS LOJA VIRTUAL HOSPEDAGEM DE SITES REVISTAS - GOREAD

CIÊNCIA

Há 43 anos, homem chegava à Lua com computador de 2 kb de RAM

📅 20 JUL 2012 ⌚ 09h01 atualizado às 12h12



O salto que a humanidade deu há exatos 43 anos ocorreu no tempo previsto pela Nasa. Mas o pequeno passo para o homem, não. Eram 23h56 de 20 de julho de 1969 quando Neil Armstrong empreendeu o derradeiro movimento que o levou do último degrau da escada do módulo para a superfície da Lua. A transmissão das imagens do astronauta saltitando pelo satélite natural não representou apenas a soberania espacial dos Estados Unidos, a concretização da profecia de John F. Kennedy proferida oito anos antes e todos os avanços científicos resultantes do programa Apollo. Os registros daqueles momentos mostraram a todos quão longe o ser humano poderia chegar com computadores inferiores ao celular que você tem no bolso hoje.



Obrigado!

