



# **Universidade Federal do Rio de Janeiro**

**CCMN - Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza**

**Instituto de Geociências**

**DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

## **SIMULAÇÃO FÍSICA DA INFILTRAÇÃO DE GASOLINA PURA E DA SUA MISTURA COM 20% DE ETANOL EM UMA AREIA NÃO SATURADA**

**JULIANA PEREIRA HYPÓLITO**

**ORIENTADORES : EMÍLIO VELLOSO BARROSO**

**EURÍPEDES DO AMARAL VARGAS JÚNIOR**

**RELATÓRIO DE ESTÁGIO DE CAMPO IV**

Setembro/2003

Esta monografia de fim de curso, junto com sua defesa oral pública, é parte integrante da disciplina Estágio de Campo IV, código IGLU05, turma IGC, e é parte dos requisitos para a obtenção do título de Geólogo, pelo Departamento de Geologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

## Índice

<b>1</b>	<b>Introdução.....</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Propriedades Físicas e Químicas da Gasolina .....</b>	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>Fases de contaminação.....</b>	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>Mecanismos de Transferência de Contaminantes.....</b>	<b>12</b>
<b>5</b>	<b>Objetivos .....</b>	<b>14</b>
<b>6</b>	<b>Confecção do modelo utilizado.....</b>	<b>14</b>
<b>7</b>	<b>Coleta de dados.....</b>	<b>17</b>
<b>7.1</b>	<b>Dados dos Ensaios .....</b>	<b>18</b>
<b>8</b>	<b>Conclusões.....</b>	<b>22</b>
<b>9</b>	<b>Trabalhos Futuros.....</b>	<b>23</b>
<b>10</b>	<b>Bibliografia consultada .....</b>	<b>24</b>

## **Índice de figuras**

**Figura 1:** Características do BTEX

**Figura 2:** Influência do etanol na degradação do BTEX

**Figura 3:** Fases de contaminação

**Figura 4:** (A) Fluxo advectivo; (B) Sorção

**Figura 5:** Fluxo dispersivo

**Figura 6:** Modelo físico utilizado

**Figura 7:** Filtro constituído de quartzo moído e brita

**Figura 8:** Ensaio realizado com gasolina pura

**Figura 9:** Ensaio realizado com gasolina misturada com 20 % de etanol

**Figura 10:** Efluente do ensaio 1

**Figura 11:** Efluente do ensaio 2

## **Agradecimentos**

Agradeço a todos que de alguma forma colaboraram para a realização deste trabalho, em especial:

À minha mãe, principal responsável por esta conquista;

À minha irmã Elizabeth, por me suportar nestes últimos cinco anos;

A Leonardo Penha, companheiro de bons e maus momentos;

Ao técnico Osório (Quintão) pela confecção do modelo físico utilizado;

Ao Prof. André Ribeiro pelo incentivo e interesse na minha formação profissional;

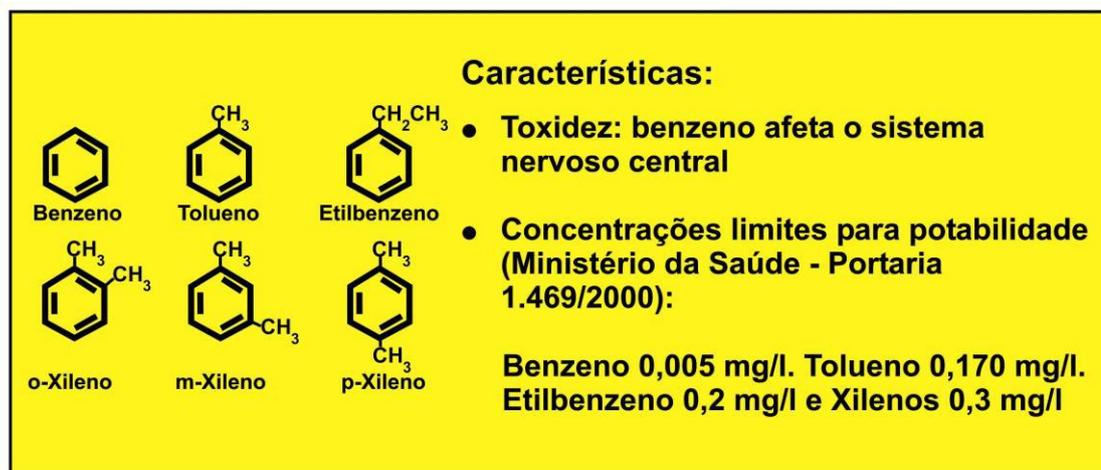
Ao Prof. Emílio Barroso pela orientação concedida;

Ao Prof. Eurípedes do Amaral Vargas Júnior pela concessão do material utilizado na experiência;

## 1 Introdução

O avanço tecnológico ocorrido nas últimas décadas contribuiu em muito para o aumento da poluição do ar, solo e água. O derramamento de petróleo e derivados é um problema que tem ocorrido com muita frequência em diversos países do mundo. Dados estatísticos das agências de proteção ambiental vêm demonstrando que o solo tem sido constantemente contaminado por problemas decorrentes de vazamentos, derrames e acidentes durante a exploração, refinamento, transporte e operações de armazenamento de petróleo e seus derivados. Destes, a gasolina merece destaque, seja pela quantidade envolvida, ou pela periculosidade.

A gasolina é um derivado de petróleo e é constituída de uma mistura de hidrocarbonetos aromáticos e alifáticos. Os compostos aromáticos, principalmente os do grupo BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos), são substâncias perigosas por serem depressantes do sistema nervoso central. O benzeno é o mais solúvel destes compostos e é considerado carcinógeno humano (vide figura 1).



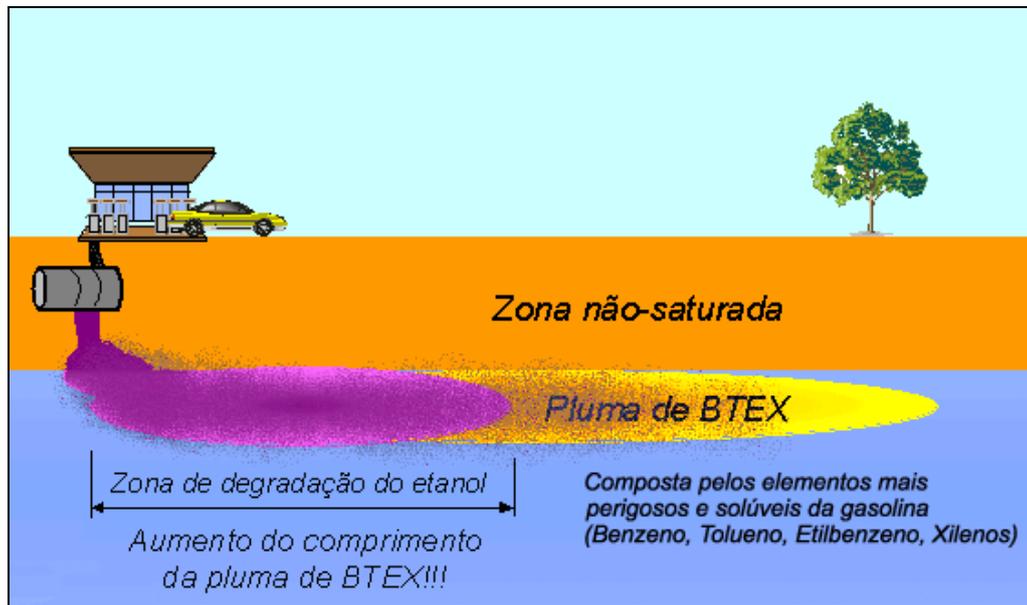
**Figura 1:** Características do BTEX. Fonte: Adaptado de Projeto Petrobrás (REMAS - UFSC).

No Brasil existem hoje mais de 29.000 postos de gasolina e há uma estimativa de cerca de 100.000 tanques subterrâneos de armazenamento de combustíveis, os quais contêm quantidades diferentes de hidrocarbonetos aromáticos (fonte: CETESB). É desconhecida a quantidade de tanques que estão com vazamento, mas sabe-se que o grande avanço tecnológico no Brasil ocorreu por volta de 1970 e muitos tanques de armazenamento de gasolina foram construídos nesta época. A vida útil destes tanques, em média 25 anos, está próxima do final. Hoje pode-se esperar um aumento da ocorrência de vazamentos nos postos do país.

Por volta de 1973, com a crise mundial do petróleo, alguns países do mundo começaram a utilizar combustíveis alternativos, adicionando à gasolina solventes orgânicos polares, tais como álcoois e éteres (ex. metanol e etanol). Estas misturas proporcionaram uma economia de petróleo e também uma diminuição da poluição do ar nos grandes centros urbanos, uma vez que, em primeiro lugar, estes aditivos oxigenados, aumentam a octonagem da gasolina, e o rendimento nos motores é maior do que utilizando a gasolina pura; e em segundo lugar a queima deste combustível alternativo tem como resíduo aldeídos, diminuindo em torno de 40% a emissão de monóxido de carbono (resíduo da queima da gasolina pura) nos grandes centros urbanos (Fernandes, 1997).

A gasolina comercializada no Brasil contém de 20 a 24 % de etanol. Os hidrocarbonetos monoaromáticos são miscíveis em álcoois primários (metanol e etanol) e os álcoois são altamente solúveis em água. Quando ocorre um derramamento dos tanques de armazenamento e a gasolina entra em contato com a água subterrânea, o álcool existente neste combustível passará para a fase aquosa e poderá transportar os BTEX, devido a miscibilidade destes com o álcool, conseqüentemente poderá aumentar a solubilidade dos compostos BTEX em água (esse tipo de processo é denominado efeito co-solvência). Se esse efeito existir, aumentarão as concentrações destes compostos na água.

Segundo Fernandes (1997), além de diminuir o retardo no deslocamento dos BTEX na água subterrânea, o etanol pode também ser biodegradado em preferência aos BTEX e consumir todo o oxigênio necessário para a degradação dos hidrocarbonetos monoaromáticos (vide figura 2). O etanol pode também ser tóxico ou inibitório para microorganismos degradadores de BTEX.



**Figura 2:** Influência do etanol na degradação da pluma de BTEX. Fonte: Adaptado de Projeto Petrobrás (REMAS - UFSC).

## 2 Propriedades Físicas e Químicas da Gasolina

O solo onde se inicia a penetração da gasolina através da infiltração pode ser compartimentado em duas zonas, de acordo com o seu grau de saturação. O primeiro compartimento, imediatamente abaixo da superfície do terreno, corresponde à zona de aeração, assim denominada pelo fato de que uma parte dos espaços intergranulares está preenchida com água e outra parte, com ar. Esta zona não-saturada é também conhecida como zona vadosa. O segundo compartimento ocorre abaixo do limite inferior da zona de aeração, onde todos os espaços estão ocupados por água, o que permite denominá-la de zona de saturação.

O comportamento dos constituintes da gasolina no solo é regido pelas propriedades físicas e químicas da gasolina e pelas características do solo, tais como porosidade e permeabilidade, por onde essa gasolina migra.

A porosidade ( $\eta$ ) de um solo pode ser definida como a relação entre o volume de vazios ( $V_v$ ) e o volume total ( $V$ ), onde  $\eta = V_v/V$ . A porosidade depende do tamanho dos grãos. Se os grãos são de tamanho variado, a porosidade tende ser menor do que no caso de grãos uniformes, porque grãos pequenos ocupam os espaços vazios entre os maiores.

A permeabilidade é a capacidade que tem um solo ou rocha de permitir a passagem de um fluido qualquer pelos seus vazios ou interstícios.

As propriedades da gasolina que podem influenciar na sua mobilidade e retenção no solo são, dentre outras, a densidade, a viscosidade dinâmica, a solubilidade e a pressão de vapor, ponto de ebulição (vide tabela 1).

**Tabela 1: Algumas Propriedades físico-químicas da Gasolina.**

Propriedades	Benzeno	Tolueno	Etilbenzeno	Xilenos
<b>Solubilidade em água (mg/l)*</b>	1.780	500	150	180
<b>Peso molecular (g/mol) *</b>	78.11	92.14	106.17	106.19
<b>Coefficiente de partição</b>	97	242	363	622
<b>Ponto de ebulição (°C) *</b>	80.1	110.6	138	136.2
<b>Pressão de vapor (atm-20 °C)</b>	0,10	0,029	0,0092	0,0066
<b>Densidade (20 °C)</b>	0,88	0,87	0,876	0,88

Fontes: \* Fawell and Hunt (1988); demais propriedades de fontes variadas.

**Densidade** - a densidade de um fluido é definida como a relação entre a massa específica do fluido e a massa específica da água a 4 °C.

**Viscosidade dinâmica** - é a medida da resistência de um fluido para escoar. A densidade da gasolina é menor do que a da água e essa diferença pode causar um efeito significativo no escoamento e retenção da gasolina em solo úmido ou saturado em água. Um aumento da temperatura tende a baixar tanto a densidade quanto a viscosidade e pode causar uma mobilidade maior da gasolina no solo.

**Solubilidade** - a solubilidade de um composto químico em água pode ser definida como a quantidade máxima que esse composto dissolverá em água pura em temperatura específica.

**Pressão de vapor** - pode ser usada para indicar a tendência de um constituinte líquido de se volatilizar e passar para a fase vapor. A proporção de volatilização da gasolina depende das pressões de vapor de seus constituintes: quanto maior a pressão de vapor, maior a volatilização.

**Ponto de ebulição** - É a temperatura em que se dá a transformação da fase líquida na fase de vapor.

### 3 Fases de contaminação

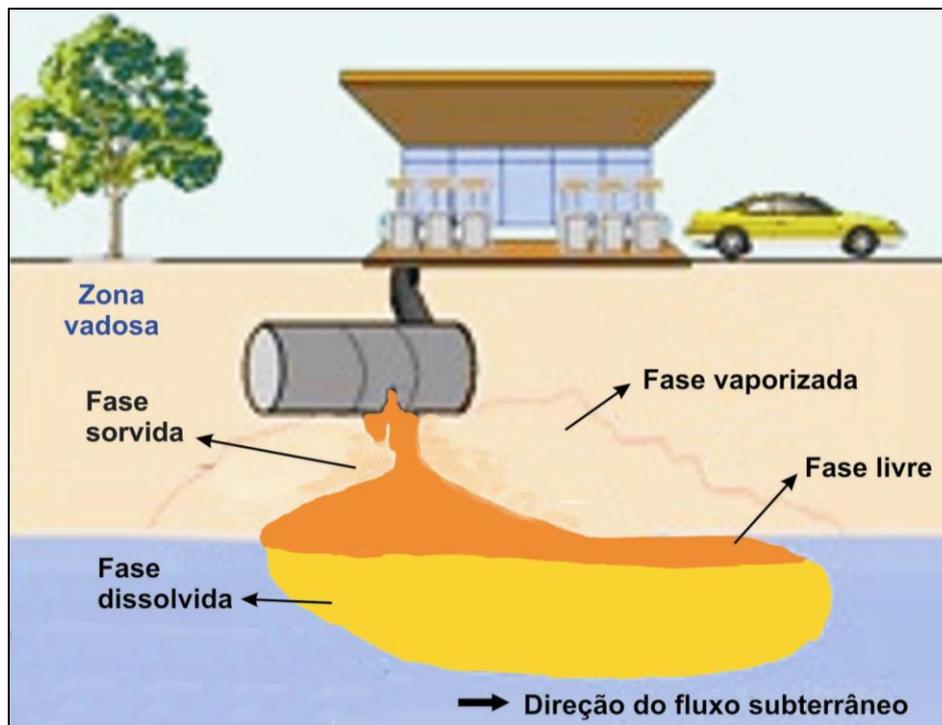
Normalmente, um vazamento de combustível em um tanque de abastecimento ocorre em diferentes fases de contaminação. Em geral, quatro fases são observadas: fase sorvida, fase livre, fase dissolvida e fase vaporizada (vide figura 3).

**Fase sorvida:** Também denominada de fase residual, constitui o halo de dispersão entre a fonte e o nível freático. A fase sorvida encontra-se logo acima da fase livre. Esta banda pode ser mais ou menos significativa de acordo com a viscosidade do produto e a porosidade do solo.

**Fase livre:** Constitui uma camada acima do nível freático, podendo ser mais ou menos espessa, dependendo da quantidade de produto derramado e da dinâmica do sistema freático.

**Fase dissolvida:** Constitui a fração de hidrocarbonetos que possui maior mobilidade e dissipa-se abaixo do nível freático.

**Fase vaporizada:** Constitui uma fase gasosa dos componentes voláteis do combustível e que ocupa espaços vazios do solo ou rocha. Esta fase está presente em meio às demais fases, mas é mais significativa na região vadosa do subsolo.



**Figura 3:** Fases de contaminação. Fonte: Adaptado de Projeto Petrobrás (REMAS - UFSC).

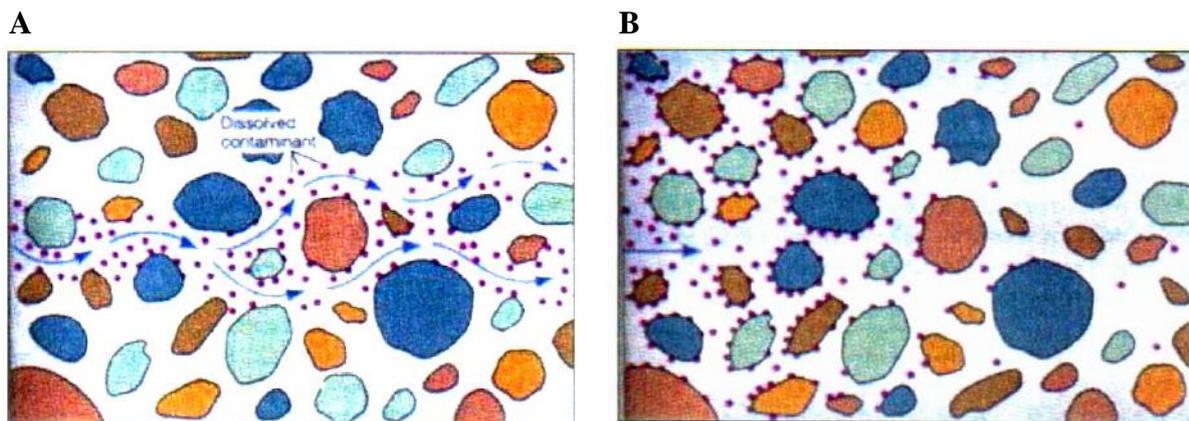
#### 4 Mecanismos de Transferência de Contaminantes

A dinâmica dos contaminantes (solutos dissolvidos na água subterrânea) costuma ser explicada através de quatro mecanismos de transferência de massa: advecção, sorção, dispersão e biodegradação (vide figuras 4 e 5).

**Advecção** - Consiste no mecanismo onde os contaminantes seguem coincidentemente com os vetores de fluxo da água subterrânea. Se um contaminante é transportado por advecção aproximadamente na mesma velocidade da água ele é dito não-retardado.

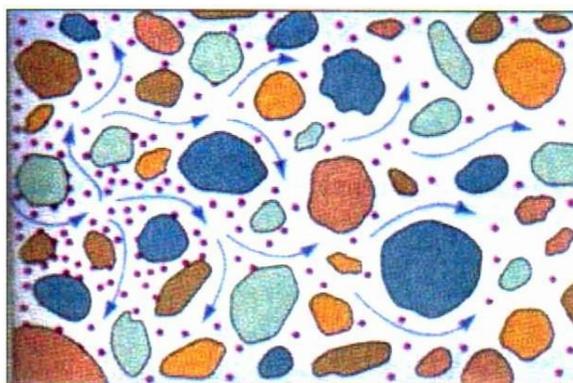
O retardo é a medida do quão um contaminante tem sua razão de influência diminuída em relação ao fluxo da água. O três principais processos causadores de retardo no fluxo de um contaminante são a adsorção, dispersão e biodegradação.

**Sorção** - É processo pelo qual os contaminantes dissolvidos particiona-se da água subterrânea e aderem às partículas da matriz do aquífero. Na sorção ocorrem os processos de adsorção e absorção. Este processo causa a diminuição da velocidade de percolação do contaminante ( $V_{\text{soluto}} < V_{\text{água}}$ ).



**Figura 4:** (A) Fluxo advectivo; (B) Sorção. Fonte: Skinner et al. (1996).

**Dispersão** – Consiste no mecanismo responsável pela diminuição da concentração de contaminantes no fluido de percolação e que pode se dar através de dois processos: dispersão hidrodinâmica e difusão molecular. A dispersão hidrodinâmica acontece pela restrição de fluxo nos poros do solo que gera redução de velocidade da percolação dos componentes mais viscosos. A difusão molecular é um fenômeno de diluição de componentes solúveis e é o principal processo formador de fase dissolvida, responsável pela maior mobilidade dos contaminantes.



**Figura 5:** Fluxo dispersivo. Fonte: Skinner et al. (1996).

**Biodegradação** – Consiste na redução da concentração do soluto na pluma através de reações químicas, na qual parcelas dos hidrocarbonetos são transformadas em ácidos orgânicos ou mesmo totalmente oxidadas. Dependendo das condições hidrogeológicas do local contaminado, a taxa de reação de biodegradação será mais rápida ou mais lenta. Cabe ressaltar que, embora a biodegradação reduza a concentração do soluto na pluma, esta não implicará, necessariamente, na redução da velocidade de deslocamento da mesma.

## **5 Objetivos**

O presente trabalho se propõe a diferenciar a percolação da gasolina pura da sua mistura com 20% de etanol em meios porosos não saturados através de uma modelagem física desenvolvida em laboratório. Sabe-se que a presença de etanol nos compostos da gasolina provoca um aumento de suas solubilidades e permeabilidades relativas, porém, ainda não se sabe ao certo quais conseqüências isto pode trazer para casos práticos de contaminação de solos por gasolina.

A partir de um modelo físico visou-se analisar e tentar diferenciar, qualitativa e quantitativamente, a distribuição física em um solo granular, isotrópico e homogêneo, da gasolina pura e da gasolina misturada com etanol, partindo de um vazamento instantâneo na sua subsuperfície.

Tentou-se reproduzir as condições de campo de um solo constituído por uma areia fina, e possuindo uma saturação residual. Com isso, pode-se tentar reproduzir casos de vazamento em um solo após ter sido infiltrado pelas águas da chuva, por exemplo.

## **6 Confecção do modelo utilizado**

Para a realização do trabalho desenvolveu-se a simulação do caso de infiltração de gasolina pura e de sua mistura com etanol a partir de um modelo bidimensional semelhante ao projetado por Viana et al. (2003). Os experimentos foram realizados no Laboratório de Solos do departamento de geologia da UFRJ.

O modelo físico desenvolvido consiste em um aquário de vidro, com dimensões 50x50x5 cm, colocado sobre uma estrutura de alumínio (vide figura 6). A base da estrutura é constituída por uma placa de PVC perfurada, permitindo a passagem de líquidos.



**Figura 6:** Modelo físico utilizado.

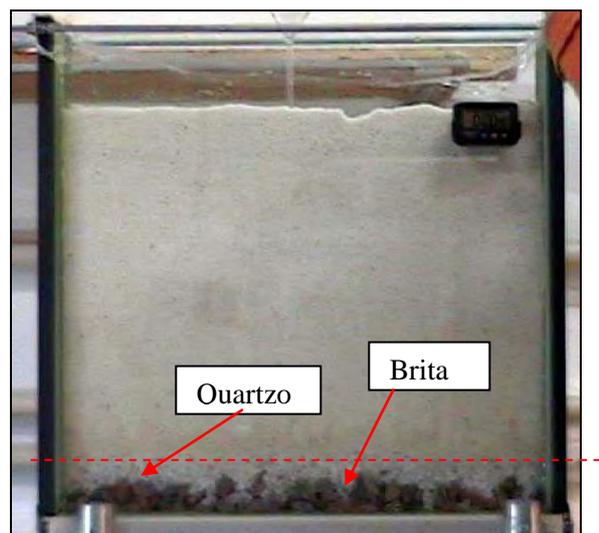
Para colar o aquário, quatro colas foram testadas quanto a sua resistência em contato com a gasolina. Foram testadas as colas araldite 10 minutos e araldite 24 horas (composição: resina epóxi e polimercaptanas); polyhobby (composição: resina epóxi, poliamida e aminas terciárias) e super bonder (composição: éster de cianocrilato). Para o teste foram utilizadas duas plaquetas de vidro coladas com as respectivas colas e mergulhadas na gasolina por 24 horas. Dentre as colas testadas a que apresentou melhor resultado foi a araldite 10 minutos, não demonstrando nenhum tipo de reação com a gasolina.

O solo foi simulado por partículas de quartzo, produzido industrialmente com diferentes dimensões. Nos ensaios foram utilizados os materiais retidos nas peneiras de malha #40 e #60 da ASTM, resultando em solos de granulometria uniforme.

O quartzo foi inserido no aquário com o auxílio de um funil acoplado a uma mangueira, de modo a evitar uma excessiva compactação. Para evitar a formação de estratos durante a acomodação do solo, este foi revolvido com o auxílio de uma haste de metal enquanto era despejado com a mangueira. A princípio, utilizou-se uma manta geotêxtil sobre a placa de PVC perfurada, de modo permitir a passagem do líquido e impedir a passagem de partículas de quartzo.

Para provocar uma saturação residual no solo foi aplicado um volume de água suficiente para umedecer todo o material presente no aquário, e aguardou-se o seu escoamento por gravidade. Observou-se que a água escoou até uma determinada altura, formando um nível de retenção sobre a manta geotêxtil.

Esta retenção de água impediria a saída da gasolina uma vez que esta é menos densa que a água. Para solucionar o problema a manta foi retirada e um filtro natural foi simulado através da uma gradação granulométrica de brita e quartzo moído (vide figura 7).



**Figura 7:** Filtro constituído de quartzo moído e brita.

Após o aquário ser preenchido com quartzo moído e saturado com água, injetou-se (por gravidade) uma quantidade conhecida de combustível. Esta injeção foi efetuada colocando o fluido em um funil (vazamento pontual) instalado no centro do aquário. Com relação às substâncias de infiltração, foram utilizadas gasolina, em seu estado puro, e gasolina com 20% de etanol, ambas fornecidas pela PETROBRAS.

Ao final do ensaio o efluente total que ultrapassou a base do aquário foi recolhido em um bécher graduado, medindo-se então os volumes de água e combustível percolados. Com estes dados foi possível calcular, por diferença, a fração de combustível retida na zona não saturada.

## **7 Coleta de dados**

Durante os ensaios procurou-se seguir sempre a seguinte seqüência experimental:

- 1) Primeiramente, o quartzo, contendo uma umidade natural, foi pesado e depois inserido no aquário.
- 2) Logo em seguida colocou-se uma massa conhecida de água suficiente para umedecer todo o quartzo. A água se infiltrou no aquário sendo que, parte de sua massa permaneceu retida no mesmo, enquanto outra parte saiu através da base do aquário, onde foi coletada num béquer graduado.
- 3) Uma pequena amostra foi retirada para o cálculo do teor de umidade do material.
- 4) Em seguida, pesou-se um volume conhecido de gasolina (300 ml) e o mesmo foi injetado no aquário através de um funil embutido no aquário a uma profundidade de 8,0 cm;
- 5) A partir do momento em que o combustível foi colocado no funil iniciou-se a documentação fotográfica, de forma a acompanhar todo o transporte do fluido no meio poroso. A percolação do combustível foi documentada também através de uma câmera digital, sendo utilizado um cronômetro para medir o tempo de percolação. O ensaio foi documentado até o momento em que o combustível chegou ao fundo do aquário;
- 6) O efluente líquido que chegou à base do aquário foi coletado e pesado;
- 7) O material do aquário foi colocado de molho com detergente neutro por 24 horas, depois das quais ele foi enxaguado até que todo o detergente fosse eliminado, e em seguida, seco em estufa.

## 7.1 Dados dos Ensaios

Os dados mostrados a seguir representam, quantitativamente, o balanço de massa do aquário nos dois ensaios, mostrados nas figuras 8 e 9.

### Ensaio 1 – Introdução de gasolina pura

a) Introdução de água por infiltração:

Massa do quartzo seco = 12.095 g

Massa do quartzo úmido = 12.627,18 g

Volume total = 9.000 cm<sup>3</sup>

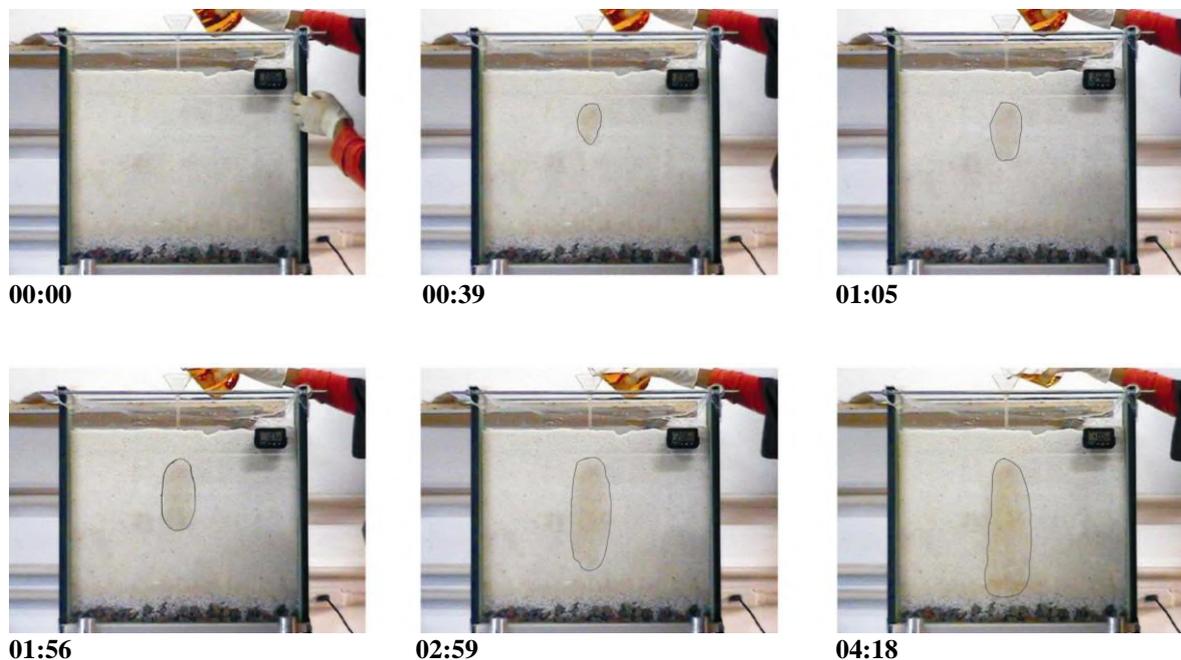
Massa de água infiltrada = 8.000g

Massa de água retida no solo = 1.300g

b) Introdução de gasolina pura:

Massa de combustível injetado = 213,14g

Massa total (água + combustível) efluente = 272,41g



**Figura 8:** Ensaio realizado com gasolina pura.

## Ensaio 2 – Introdução de gasolina com 20 % de etanol

Massa do quartzo seco = 12.305 g

Massa do quartzo úmido = 12.846,42 g

Volume total = 8.875 cm<sup>3</sup>

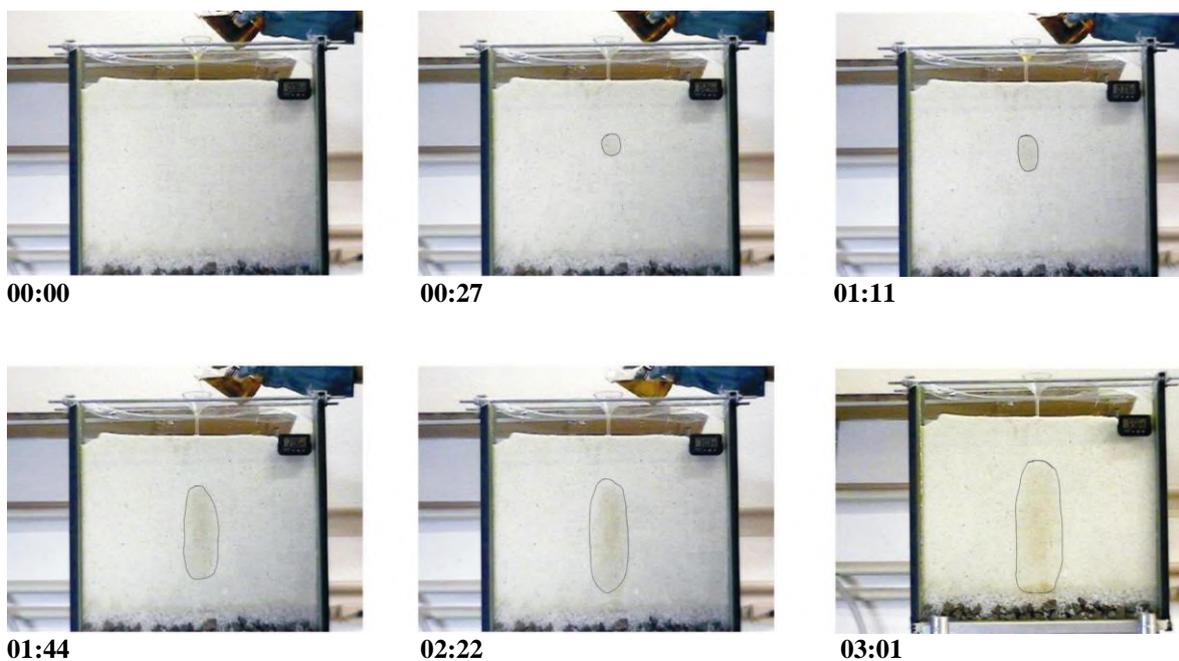
Massa de água infiltrada = 8.000g

Massa de água retida no solo = 1.200g

c) Introdução de gasolina com 20 % de etanol:

Massa de combustível injetado = 225,5g

Massa total (água + combustível) efluente = 529,61g



**Figura 9:** Ensaio realizado com gasolina misturada com 20% de etanol.

Assumindo 2,65 para a densidade do quartzo e 9,81 kN/m<sup>3</sup> para o peso específico da água foi possível, através dos dados obtidos durante a realização dos ensaios, calcular o teor de umidade ( $w$ ), o índice de vazios ( $e$ ) e o grau de saturação ( $S$ ) no caso da gasolina pura e da sua mistura com etanol.

De acordo com Caputo (1988) o teor de umidade ( $w$ ) pode ser definido como sendo a razão entre o peso da água contida num certo volume de solo e o peso da parte sólida existente neste mesmo volume, expressa em porcentagem;  $W = (P_a / P_s) \times 100$ , onde  $P_a$  = peso da água e  $P_s$  = peso do solo.

O índice de vazios ( $e$ ) é a razão entre o volume de vazios e o volume da parte sólida de um solo. Para um solo contendo umidade, pode ser obtido através da fórmula:

$$e = (1 + w)G \times (\gamma_w / \gamma_t) - 1, \text{ onde } \gamma_w = \text{peso específico da água e } \gamma_t = \text{peso específico total.}$$

Por definição, temos que o peso específico total ( $\gamma_t$ ) é a relação entre o peso total e o volume total. Desse modo:  $(\gamma_t) = P/V$ .

Uma vez obtido o índice de vazios ( $e$ ) pode-se calcular, para o material contido no aquário, o grau de saturação ( $S$ ). O grau de saturação é a porcentagem de água contida nos vazios do solo e pode ser obtido através da relação  $Gw = Se$ .

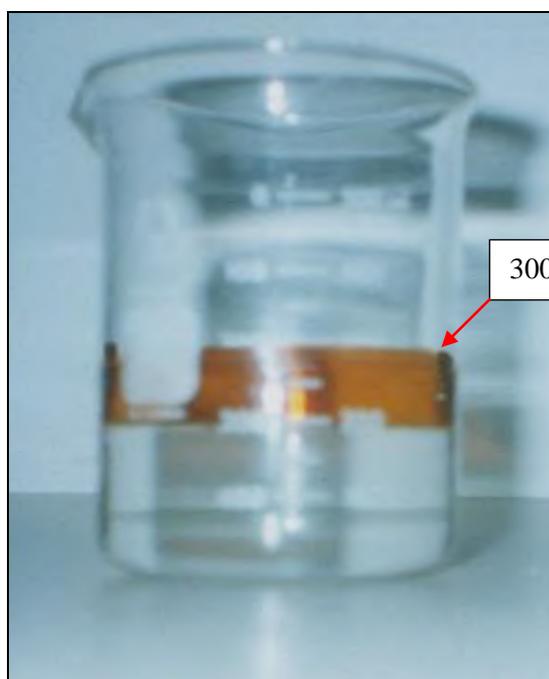
Tanto no ensaio 1 como no ensaio 2, o teor de umidade calculado foi o mesmo ( $w = 4,4\%$ ). Os valores obtidos para o índice de vazios foi de  $e = 0,94$  e  $e = 0,87$  nos ensaios 1 e 2, respectivamente. Para o grau de saturação, os valores foram  $S = 12,4\%$  para o ensaio 1 e  $S = 13,4\%$  para o ensaio 2.

De acordo com os valores obtidos para  $e$ ,  $w$ , e  $S$  foi possível confirmar que os dois ensaios foram realizados sob as mesmas condições, de modo que qualquer variação ocorrida durante a percolação dos combustíveis não deve ser associada às condições de contorno dos ensaios.

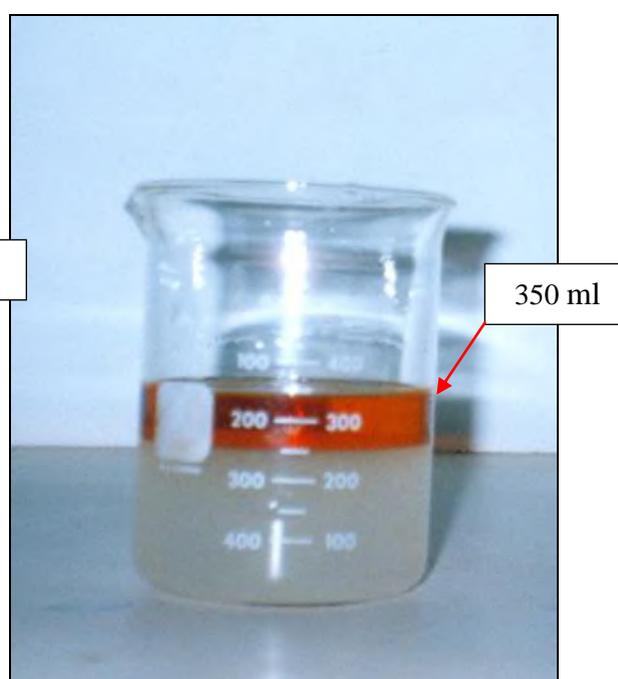
A percolação da gasolina no aquário pode ser interpretada como resultado da ação conjunta das forças capilares e gravitacionais. Tanto no ensaio 1 como no ensaio 2, a gasolina ao penetrar no aquário desenvolve primeiramente uma forma circular. Neste caso, pode-se dizer que a pressão capilar é maior do que a componente gravitacional.

Quando o meio poroso atinge um elevado grau de saturação, a componente gravitacional supera as pressões capilares. Com isso, o fluxo assume uma forma elíptica, passando a migrar verticalmente.

As figuras 10 e 11 mostram a quantidade de efluente que foi recolhido em cada um dos ensaios. Em ambas pode-se distinguir nitidamente a quantidade de combustível em fase livre.



**Figura 10:** Efluente do ensaio 1.



**Figura 11:** Efluente do ensaio 2.

## **8 Conclusões**

Após a realização dos dois ensaios observou-se que a gasolina com 20% de etanol percolou mais rapidamente que a gasolina pura no meio poroso. O tempo do ensaio com gasolina pura foi de 4 minutos e 18 segundos, sendo de 3 minutos e 1 segundo o tempo gasto para o ensaio feito com a mistura gasolina e álcool. Isto se explicaria pelo fato do etanol aumentar a solubilidade dos constituintes da gasolina e a permeabilidade relativa da gasolina pura ser menor do que a da mistura.

A quantidade de efluente final (água + gasolina) obtida no segundo ensaio (gasolina com 20% de etanol) foi maior que do que o obtido no primeiro (gasolina pura), sendo que a espessura da fase livre é a aproximadamente a mesma para os dois ensaios (100 ml). Contudo, foi possível perceber que no efluente 2 a fase livre apresentou coloração mais clara que a fase livre do efluente 1, e, a água, apresentou-se mais turva.

De acordo com experiências semelhantes realizadas anteriormente, como a de Viana et.al. (2003), esperava-se que a espessura de fase livre observada após o ensaio fosse menor no caso da gasolina com etanol, uma vez que o etanol aumenta a solubilidade dos compostos da gasolina em água. Entretanto, o fato de no ensaio 2, a água estar mais turva e a fase livre mais clara, pode significar que houve uma maior dissolução dos compostos BTEX em relação ao ensaio 1.

Problemas de acondicionamento (transporte, vedação e refrigeração) podem ter sido responsáveis por mudanças nas propriedades da gasolina (perda de voláteis, por exemplo), proporcionando um resultado inesperado.

## **9 Trabalhos Futuros**

No Brasil existem poucos trabalhos publicados que questionam o assunto abordado aqui. Cabe ressaltar que, em se tratando de uma experiência, os dados obtidos para este trabalho não são absolutos. É necessário dar continuidade aos ensaios, buscando, através do conhecimento adquirido e em publicações semelhantes, eliminar situações que diferem das condições naturais em que ocorre um vazamento.

Como há diferenças no processo de refinação da gasolina, sugiro que, em experiências futuras, o etanol seja adicionado à gasolina pura nas proporções desejadas, como realizado por Fernandes (1997), mantendo assim, para os dois ensaios, as mesmas características da gasolina.

Para determinar a quantidade exata de combustível que ficou retido no solo e quanto foi diluído em água, deve-se fazer uma análise química do efluente final de cada ensaio, para determinar as concentrações de BTEX.

## 10 Bibliografia consultada

Azambuja, E.; Cancelier, D. B. e Nanni, A. S. – Contaminação do Solo por LNAPL: Discussão Sobre Diagnóstico e Remediação. ([www.azambuja.com.br/acervo/geosul2000.pdf](http://www.azambuja.com.br/acervo/geosul2000.pdf))

Contaminant Hydrogeology - Fetter, C. W. – 2ª edição – prentice – Hall, Inc. 1999, 500 p.:il.

Cordazzo, J.; Maliska, C. R. e Corseuil, H. X. – Solução Numérica do Problema de Derramamento de Gasolina Acrescida de Álcool no Solo. II Congresso de Engenharia de Processos do MERCOSUL – 30 de agosto a 02 de setembro de 1999 – Florianópolis, Santa Catarina – Brasil.

Cordazzo, J. (2000) – Modelagem e Simulação Numérica do Derramamento de Gasolina Acrescida de Álcool em Águas Subterrâneas. – Tese de mestrado em Engenharia Mecânica (Universidade Federal de Santa Catarina).

Corseuil, H. X. e Marins, M. D.M – Contaminação de Águas Subterrâneas por Derramamentos de Gasolina: O Problema é Grave? – Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental, v.2, n.2, p. 50-54, 1997.

Corseuil, H. X. e Marins, M. D.M – Efeitos Causados pela Mistura de Gasolina e Álcool em Contaminações de Águas Subterrâneas. Bol. Téc. PETROBRÁS, Rio de Janeiro, 41 (3/4): 133-138 jul./dez. – 1998.

Environmental Toxicology - Organic Pollutants, Fawell, J.K. e Hunt S. - 1ª edição – Ellis Horwood Limited, 1988. 440 p.

Environmental Geology , Barbara W. Murck, Brian J. Skinner e Stephen C. Porter. - 1ª edição – Jhon Wiley & Sons, Inc., 1996. 535p.:il.

Fernandes, M. (1997) – Influência do Etanol na Solubilidade de Hidrocarbonetos Monoaromáticos em Aquíferos Contaminados com Gasolina – Tese de Mestrado em Ciências em Engenharia Ambiental – Universidade Federal de Santa Catarina.

Hidrologia – Conceitos e Aplicações - 2<sup>a</sup> edição / [coordenado por Fernando A. C. Feitosa [e] João Manoel Filho. – CPRM/REFO, LABMID – UFPE, 2000.

Introdução à Geologia de Engenharia – Carlos Leite Maciel Filho –2<sup>a</sup> edição – Santa Maria: Editora da UFSM; Brasília: Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 1997. 248p.:il.

Mecânica dos Solos e Suas Aplicações – Volume 1: Fundamentos - Homero Pinto Caputo, 6<sup>a</sup> edição – LTC: Livros Técnicos e Científicos; Rio de Janeiro, 1988. 234 p.:il.

Montalvão, A. D. L.(2003) – Monitoramento do Aquífero na Área da Usina Termelétrica (UTE) Norte Fluminense. Monografia de Graduação em Geologia – Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Projeto Petrobrás – Remediação de Áreas Contaminadas por Derramamentos de Combustível – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) – REMAS. – ([www.remas.ufsc.br/projeto\\_petrobras.html](http://www.remas.ufsc.br/projeto_petrobras.html))

Viana, A. F., (2003) – Modelagem Física do Transporte de Gasolina Pura e da sua Mistura com Etanol em meios Porosos Não-Saturados.