

# ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE MÉTODOS DETERMINÍSTICOS E AMOSTRAGENS REAIS NO CÁLCULO DA ANÁLISE DE RISCO PARA INALAÇÃO DE COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS A PARTIR DE EMISSÕES DO SOLO.

**Celso Kolesnikovas<sup>1</sup>**

**Resumo** - Os cálculos do risco para as diferentes rotas de migração de um contaminante perigoso para um receptor são executados a partir da taxa de ingestão deste contaminante em função da sua concentração, além de duração e frequência de exposições. Especificamente para a inalação de vapores orgânicos a partir de emissões do solo (zona não saturada), tendo como fonte uma pluma de contaminação na zona saturada, os requisitos necessários para a determinação da taxa de ingestão são a concentração da fase vapor do contaminante na zona não saturada, além de dados físicos como área superficial do solo contaminado, profundidade do topo até a base do solo, massa inicial do contaminante e tempo decorrido da aplicação do contaminante no solo. O modelo de Thibodeaux-Hwang (in API, 1994) determina a razão instantânea de fluxo de emissão de voláteis, sendo que a concentração dos compostos no ar é determinada pelo Box Model (in API, 1994). Uma análise comparativa do cálculo de análise de risco com medidas reais de concentração no ar indicou que os resultados obtidos pela análise de risco são extremamente conservadores. Assim, quando da execução de uma análise de risco, cujo resultado final indique a ausência de risco, pode-se concluir pela não necessidade de trabalhos de remediação.

**Palavras-chave** - Análise de Risco, RBCA, Hidrocarbonetos

---

<sup>1</sup> HIDROPLAN - Hidrogeologia e Planejamento Ambiental S/C Ltda., Rua José Félix de Oliveira, 828, cj 17, Granja Viana, Cotia, SP, CEP 06700-000 - Fone/Fax (011) 7922-0480 - E-mail: hidropl@unisys.com.br

## **INTRODUÇÃO**

Os vazamentos de combustíveis em área urbana apresentam como problemática marcante a possibilidade do contaminante atingir interferências subsuperficiais diversas. Desse modo, não é incomum impactos gerados pela emissão de vapores no interior de residências ou espaços confinados. A caracterização do problema e avaliação da situação de contaminação se iniciam por um cadastro subsuperficial das interferências, seguido da instalação de poços de monitoramento, com posterior coletas e análises de amostras, visando a delimitação e quantificação da pluma de contaminação. Os processos de remediação são onerosos e de difícil precisão do resultado final. Comumente, estes processos baseiam-se em critérios genéricos, conduzindo os esforços e recursos de remediação a uma forma não ponderada em função do grau de adversidade causado pela contaminação.

A análise de risco prevê uma criteriosa avaliação da exposição e da toxicidade associada à exposição. Desse modo os esforços de remediação são destinados exclusivamente aos impactos que realmente causem risco à saúde humana. De forma a avaliar se as modelagens de análise de risco representam a realidade, foi executada uma calibração dessa análise para a rota compreendida pela inalação de vapores orgânicos voláteis a partir de emissões de solo, em local contaminado por hidrocarbonetos de petróleo, concluindo-se que o resultado da análise de risco é extremamente conservador. Conclui-se que são desnecessários trabalhos mais detalhados de investigação quando o resultado de uma minuciosa análise de risco indica a ausência deste.

## **METODOLOGIA**

A metodologia utilizada no estudo envolveu as seguintes atividades:

- levantamento bibliográfico dos dados geológicos e hidrogeológicos de caráter regional e local;
- levantamento antrópico e cadastral das utilidades subterrâneas presentes no local, com o intuito de se verificar possíveis interferências destas no caminho de percolação do produto vazado através do solo;
- instalação de poços de monitoramento do aquífero freático para a caracterização hidrogeológica do local e avaliação da situação de contaminação, de acordo com a norma NBR 13784;

- execução de testes de condutividade hidráulica in situ, do tipo "Slug Test" (Hvorslev, 1951) nos poços instalados;
- medições dos níveis d'água e da quantidade de produto presente nos poços de observação, obtendo-se um mapa potenciométrico;
- amostragens de água subterrânea para posteriores análises de cromatografia gasosa, para os parâmetros Benzeno, Tolueno e Xileno (BTX), gerando um mapa de isoconcentrações;
- análise de Risco de acordo com a metodologia ASTM-RBCA, utilizando-se como ferramenta de suporte, software específico da API - American Petroleum Institute;
- análises químicas de amostras de ar, com os solventes orgânicos adsorvidos em carvão ativado e comparação com a análise de risco.

## **RESULTADOS**

### **AVALIAÇÃO HIDROGEOLÓGICA**

A condutividade hidráulica máxima obtida nos ensaios foi de  $9,13 \times 10^{-6}$  cm/s, com um gradiente de 5% e porosidade efetiva para fluxo mínima de 2%.

Esses valores críticos indicaram uma velocidade real de 2,08 cm/dia para a água subterrânea.

Os resultados das análises cromatográficas indicaram concentrações de Benzeno variando entre 1250 e 2650  $\mu\text{g/L}$ , Tolueno entre 587 e 900  $\mu\text{g/L}$  e Xilenos entre 57 e 600  $\mu\text{g/L}$ .

A área em planta da pluma de contaminação definida apresenta cerca de 380  $\text{m}^2$ . Adotando-se a espessura média de 10 cm da lâmina de produto medida nos poços de recuperação, assumiu-se a espessura média como sendo de 2 cm no aquífero (Oliveira et al., 1991), obtendo-se um volume aproximado de 7,6  $\text{m}^3$  de produto em fase livre. Considerando-se um volume de solo contaminado de 56,5  $\text{m}^3$  (6,0 m de altura a partir do ponto de vazamento até o nível d'água, por uma área de 9,4  $\text{m}^2$ ), associado à porosidade de retenção do solo de aproximadamente 20% (Fetter, 1980), obtém-se um volume de 11,3  $\text{m}^3$ , perfazendo um total de 19  $\text{m}^3$  de contaminante nas fases livre e residual.

### **FILTRAGEM PARA AVALIAÇÃO DE RISCO À SAÚDE HUMANA**

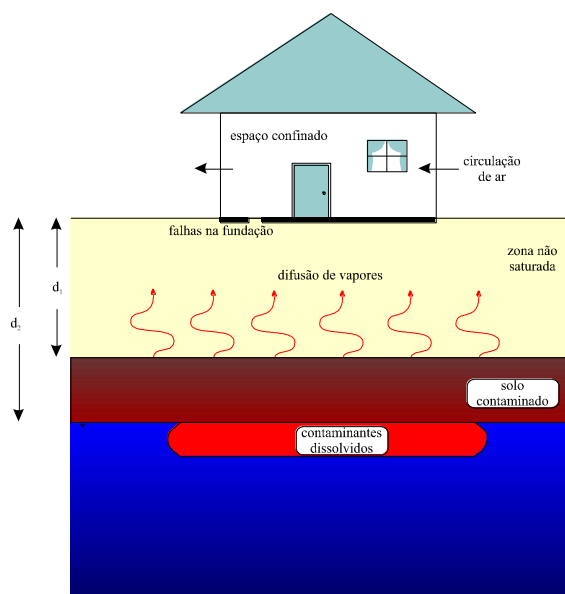
A avaliação de risco à saúde humana determina se a contaminação subsuperficial

por hidrocarbonetos, associada às condições e atividades locais, apresenta um risco aceitável para receptores humanos. O risco à saúde é caracterizado pela existência de um contaminante perigoso, de uma rota de exposição relacionada a este contaminante e, por fim, um receptor potencial. Os compostos de interesse neste caso são praticamente invariáveis e a seleção restringe-se a benzeno, tolueno, e xilenos, genericamente referidos como BTX.

As possíveis rotas de migração de contaminantes da fonte para o receptor são: ingestão de água, inalação de vapores durante o banho, contato dermal durante o banho, ingestão de solo, contato dermal com solo e inalação de emissões do solo. Os vetores responsáveis por estas rotas são a água subterrânea e os vapores da zona não saturada. Concentração de voláteis na zona não saturada podem provir de produto nas fases livre e residual, regidas pela pressão de vapor dos produtos, ou da fase dissolvida, regidas pela lei de Henry. Menores espessuras da zona não saturada levam a um aumento do risco por transporte de contaminantes através do ar do solo, uma vez que estes podem atingir a atmosfera mais facilmente.

## FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Após minuciosa inspeção das possíveis rotas de migração, concluiu-se que a única rota importante é a inalação de emissões provenientes do solo, caracterizada pela presença de odores na residência vizinha à fonte de vazamento. A Figura 1 ilustra o modelo conceitual elaborado a partir desta conclusão.



**Figura 1** - Volatilização a partir de solo e água subterrânea para espaço confinado  
(modificado de ASTM 1995)

### CARACTERIZAÇÃO DO RISCO ESTIMADO

Os riscos calculados seguiram uma análise determinística, de acordo com as concentrações obtidas pelas análises de BTX, utilizando-se o modelo de Thibodeaux-Hwang, que apresenta a seguinte relação para se estimar a taxa de fluxo através do solo:

$$E(t) = \frac{D_e C_{vs}}{\sqrt{d_1^2 + \frac{2D_e A t (d_2 - d_1) C_{vs}}{M_0}}}$$

onde:

$E(t)$  = razão instantânea de fluxo de emissão de voláteis ( $\text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$ )

$D_e$  = coeficiente de difusão efetivo dos elementos químicos no vapor do solo ( $\text{cm}^2/\text{s}$ )

$C_{vs}$  = concentração da fase de vapor no solo ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

$A$  = área superficial do solo contaminado ( $\text{cm}^2$ )

$d_1$  = profundidade até o topo do solo contaminado (cm)

$d_2$  = profundidade até a base do solo contaminado (cm)

$t$  = tempo decorrido da aplicação dos contaminantes no solo (s)

$M_0$  = massa inicial do contaminante (g)

A concentração da fase de vapor no solo é calculada a partir da lei de Henry aplicada à concentração do contaminante na água.

A concentração no ar é definida pelo modelo de caixa ou “box model”, de acordo com a seguinte relação:

$$C_{ar} = \frac{10^3 E}{uWH}$$

$C_{ar}$  = concentração química no ar ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )

$E$  = razão média de emissão de voláteis químicos em um determinado período de exposição ( $\text{kg}/\text{ano}$ )

- u = velocidade média anual dos ventos (m/s)
- W = largura da caixa, perpendicular à direção preferencial dos ventos (m)
- H = altura da zona de mistura (m)
- $10^3$  = fator de conversão de g para mg

Desta forma, obteve-se uma concentração de 1826 mg/m<sup>3</sup> de benzeno no ar, valor que excede o Limite de Exposição Permitido (LEP) definidos pelo U.S. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) e pelo U.S. Occupational Safety and Health Administration (OSHA), de 3,3 mg/m<sup>3</sup>.

Utilizando-se os valores mais prováveis referentes ao peso do corpo humano (70 kg), dias de exposição por ano (52 dias), período de exposição (9 anos), “slope factor” para benzeno (0,029 kg dia/mg), em conjunto com a concentração calculada, o valor do risco foi da ordem de 10<sup>-1</sup>. Ainda, o modelo baseia-se nos seguintes critérios: liberação do contaminante por difusão molecular, sendo eliminado em pequenas lâminas a partir do topo da zona contaminada, assumindo-se que a sua concentração permanece constante; concentração no ar superficial igual a zero, ou insignificante em relação à concentração de vapor do solo; volatilização de toda a massa de contaminante, sendo nula a parcela que migra para a água ou que se degrada; completa mistura dos voláteis emitidos no volume considerado. Embora os valores mais prováveis utilizados no cálculo de risco estimado não correspondam ao caso mais conservador, o valor obtido está acima do aceitável para esta rota, entre 10<sup>-4</sup> e 10<sup>-6</sup>.

### **CARACTERIZAÇÃO DO RISCO REAL**

Como os resultados do cálculo do risco estimado indicaram a existência de risco, realizou-se maior nível de detalhamento através de medidas *in situ* dos valores de concentração de benzeno no ar no interior da residência, para determinação do risco real. O local de amostragem foi submetido às condições reais de utilização com e sem renovação de ar. Os resultados apresentaram concentrações da ordem de 0,12 mg/m<sup>3</sup> para benzeno, valor situado abaixo do LEP acima mencionado, caracterizando a inexistência de risco real para o local avaliado.

### **CONCLUSÕES**

- A formulação do problema permitiu a eliminação de rotas sem risco consequentemente evitando-se o dispêndio de recursos em remediação;

- a utilização de parâmetros conservadores na caracterização do risco estimado indicou a ordem de grandeza  $10^{-1}$ , muito superior ao valor limite de  $10^{-4}$ , definido pela EPA (Environmental Protection Agency).
- a caracterização do risco real, com amostragem de concentrações de benzeno *in situ* apresentou concentrações da ordem de 0,12 mg/m<sup>3</sup> no ar, valor situado abaixo do Limite de Exposição Permitido, caracterizando a inexistência de risco real para o local avaliado.
- a metodologia adotada mostrou-se defensável e prática quanto à utilização.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- API - American Petroleum Institute (1994)** Decision Support System for Exposure and Risk Assessment (DSS), API. Version 1.0. Health and Environmental Sciences Department, Washington, DC.
- ASTM. (1995)** Standard Guide for Risk-Based Corrective Action Applied at Petroleum Release Sites, 1995
- FETTER, C.W. (1980)** Applied Hidrogeolgy. Merril Publishing Company, Columbus Ohio, 592.p.
- HVORSLEV, M.J. (1951)** Time Lag and Soil Permeability in Groundwater Observations. Bulletin no. 36. Waterways Experiment Station Corps of Engineers. U.S. Army, Vicksbourg, Miss, 50 p.
- OLIVEIRA, E.; CLEARY, R.W.; CUNHA, R.C.A. e PACHECO, A. (1990)** Gasoline Hydrocarbons: Groundwater Pollution Potential in Metropolitan São Paulo. IAWPRC-ABAS, Porto Alegre-RS.
- PEL (1996)** Permissible Exposure Limit, Occupational Safety & Health Administration, 29 CFR 1910.1000,.
- REL (1988)** Recommended Exposure Limit. National Institute for Occupational Safety and Health.
- STEL (1996)** Short Term Exposure Limit. American Conference of Governmental Industrial Hygienists.