

PROBLEMAS RELACIONADOS COM A INVESTIGAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO PRODUZIDA POR HIDROCARBONETOS DO PETRÓLEO

Walter Duarte Costa¹

RESUMO

O presente trabalho enfoca um problema surgido na última década, em função da necessidade de investigar a contaminação das águas subterrâneas conseqüente de vazamentos ou derramamentos de combustíveis líquidos ocorridos principalmente nos postos que comercializam tais produtos. Esses acidentes assumem maior gravidade pelo risco oferecido pelos hidrocarbonetos presentes nesses combustíveis, não apenas à segurança da população presente e vizinha a esses postos, pela possibilidade de explosões e incêndios causados pelo vapor exalado do combustível infiltrado no solo, mas também, à integridade das águas subterrâneas que podem ser contaminadas por tais hidrocarbonetos infiltrados, na maioria com elevado potencial cancerígeno. Apesar da grande contribuição de alguns órgãos ambientais na tentativa de normatizar procedimentos rígidos para melhor controlar os impactos gerados pela má manutenção e conservação dos tanques e tubulações nesses postos, ainda ocorrem falhas e deficiências na aplicação da legislação existente em algumas cidades brasileiras, na maior parte conseqüentes da ausência de uma melhor fiscalização durante a fase de investigação ambiental realizada. No presente trabalho são mostradas algumas dessas falhas que, inclusive, podem aumentar os riscos de contaminação dos aquíferos ao invés de evitá-los ou minimizá-los.

PALAVRAS-CHAVE

Contaminação; combustíveis; investigação ambiental

INTRODUÇÃO

O problema de vazamentos ou derramamentos de combustíveis líquidos nos postos que os comercializam ou na distribuição interna em indústrias, oficinas e empresas de transporte (ônibus ou caminhões) tem sido alvo de inúmeros estudos nas duas últimas décadas a nível internacional, embora no Brasil somente na última década esse assunto tenha despertado maior interesse através dos trabalhos de Guiger, Oliveira, Corseuil, Bicalho e Loureiro entre outros.

1) Dr. Prof. do Instituto de Geociências da UFMG. Endereço: Rua do Ouro, 780/102 – Serra Belo Horizonte – MG – 30.220-000. Telefone: (31) 3287.5232 - Fax: (31) 3225.3870. E-mail: walter.costa@terra.com.br

O assunto assume maior gravidade pelas conseqüências advindas da presença de alguns derivados do petróleo no subsolo, seja devida a vazamentos de tanques e tubulações enterradas ou a derramamentos superficiais.

A maior parte dos hidrocarbonetos presentes nesses materiais combustíveis pode apresentar um grande risco de explosões e incêndios em função de sua volatilidade, quando representam um risco direto à segurança da população presente ou vizinha aos locais que manipulam tais combustíveis.

Um outro risco reside na permanente fonte de contaminação das águas subterrâneas pela fase líquida infiltrada no subsolo, o que pode representar um impacto ambiental de conseqüências imprevisíveis.

A avaliação dos efeitos de qualquer processo envolvendo a infiltração de combustíveis no subsolo somente é possível com uma rigorosa investigação ambiental que envolve procedimentos muito variados em função das peculiaridades específicas de cada caso.

Entre os fatores que mais influem na escolha da metodologia mais adequada para cada caso podem ser lembradas:

- as condições geológicas
- as condições hidrogeológicas
- a quantidade e o tipo de produto infiltrado
- a caracterização da infra-estrutura de serviços locais (rede de esgotos, galerias pluviais, redes de água, gás, energia elétrica e telefone etc)
- a caracterização da vizinhança, principalmente com relação a garagens subterrâneas
- a presença de estruturas de captação de água subterrânea como poços e cisternas no posto ou em suas vizinhanças
- a distribuição espacial de todos os elementos acima citados

Um outro aspecto que antecede a escolha da metodologia diz respeito ao objetivo da investigação ambiental. Em princípio, podem ser distinguidos dois tipos de investigação em função de seus objetivos: preventiva e corretiva.

A **investigação ambiental preventiva** é realizada como subsídio à concessão de uma licença ambiental ou até mesmo para a liberação de um alvará de funcionamento. Essa investigação é geralmente normatizada com base em leis e deliberações, pelo que obedece sempre a um roteiro de procedimentos pré-estabelecidos.

A **investigação ambiental corretiva** se faz necessária quando a ocorrência de um vazamento ou derramamento excessivo de combustível cria problemas perceptíveis pela população atingida. Essa percepção pode ser materializada por cheiro forte ou pela presença de vapores em galerias, garagens subterrâneas ou outras vias de comunicação entre o local do acidente e suas vizinhanças, pelo que, tais ocorrências geralmente são detectadas através de denúncias.

Pelo seu caráter de aleatoriedade, esse último tipo de investigação é muito mais complexo, exigindo um tratamento diferenciado para cada caso, o que impede qualquer generalização em termos metodológicos e dificulta uma análise prévia sobre eventuais falhas e deficiências que possam ocorrer nos procedimentos a adotar.

Em função do exposto, terá o presente trabalho o objetivo de analisar os procedimentos geralmente adotados na investigação ambiental preventiva, indicando algumas falhas e deficiências que podem, em alguns casos, aumentar os riscos de contaminação dos aquíferos ao invés de evitá-los ou minimizá-los.

CARACTERIZAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO E DE SEUS CONTAMINANTES

Uma compreensão qualitativa do processo de contaminação por derivados de petróleo exige uma interação de conhecimentos envolvendo a caracterização do ambiente afetado e da carga contaminante.

A caracterização do **ambiente afetado** inclui conhecimentos básicos de geologia e hidrogeologia, tanto relacionados com os materiais inconsolidados, como relativos ao substrato rochoso, além das condições locais que favorecem a infiltração.

Entre os conhecimentos **geológicos** destacam-se os seguintes:

- textura e heterogeneidade do solo
- propriedades físicas e químicas dos solos e suas variações, com ênfase para porosidade e condutividade hidráulica
- espessura da cobertura de solo ou material inconsistente
- abertura e persistência das fraturas do maciço rochoso

Como condicionantes **hidrogeológicas** devem ser destacadas as seguintes:

- tipos de aquíferos
- profundidade do nível freático ou piezométrico
- circulação da água subterrânea com indicação das direções de fluxo
- processos de migração dos compostos infiltrados

Complementam esses conhecimentos, as seguintes condicionantes da infiltração:

- declividade do terreno
- impermeabilização superficial
- regime climático

A caracterização da **carga contaminante** inclui os seguintes conhecimentos:

- tipos de combustíveis e seus constituintes
- propriedades físicas e químicas dos combustíveis
- fases dos hidrocarbonetos no solo

Pela importância dessa caracterização para o mecanismo da contaminação ora analisado, serão tecidas algumas considerações para melhor subsidiar os comentários que se seguirão sobre a investigação ambiental.

Os **derivados de petróleo** são constituídos por uma mistura complexa de compostos orgânicos formados a partir de diferentes tipos de refinação, onde são usados aditivos para melhorar o desempenho e a estabilidade do combustível.

Os principais hidrocarbonetos presentes nos combustíveis comercializados no Brasil são o etanol, na forma de álcool hidratado ou misturado na gasolina, as gasolinas e os destilados médios como óleo diesel, querosene, óleo para aquecimento e combustíveis para jatos.

O *álcool hidratado* é uma mistura de etanol com uma pequena proporção de água. Quando misturado à gasolina, esse álcool aumenta a solubilidade da gasolina em água, exacerbando seu impacto ambiental quando atinge a zona saturada.

As *gasolinas* são constituídas por centenas de constituintes, sendo a maioria deles incluídos entre os *compostos alifáticos*, como o butano, o pentano e o octano e os *compostos aromáticos* como o benzeno, o tolueno, o etilbenzeno e o xileno (BTEX). Os compostos aromáticos, pela sua alta volatilidade, constituem excelentes indicadores para vazamentos de combustíveis.

Os *destilados médios*, embora possam conter quase 500 constituintes individuais, são em geral menos voláteis e menos solúveis que as gasolinas, principalmente por possuírem concentrações bem menores de aromáticos.

As principais *propriedades físicas e químicas dos combustíveis* em função da possibilidade de contaminação são: densidade, viscosidade dinâmica, solubilidade e pressão de vapor.

A *densidade* de todos os combustíveis líquidos é menor que a da água, o que confere a esses materiais a propriedade de sobrenadante quando em contato com a água.

A *viscosidade dinâmica* da gasolina é muito inferior a dos destilados médios como o diesel, pelo que apresenta menor resistência para escoar entre os poros do solo.

A *solubilidade* dos aromáticos é muito grande, embora ainda inferior a do etanol. Assim, são mais solúveis em água, na ordem decrescente, o álcool hidratado, a gasolina e o óleo diesel.

Finalmente, a *pressão de vapor* da gasolina é pelo menos uma ordem de grandeza maior que a do diesel, resultando em uma maior volatilidade da mesma.

De todos os constituintes dos diversos combustíveis, os que apresentam maior toxicidade são os compostos aromáticos, principalmente os leves da série BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno).

Esses compostos são poderosos depressores do sistema nervoso central, apresentando toxicidade crônica mesmo em pequenas concentrações.

O benzeno é o mais tóxico dessa série, por ser comprovadamente cancerígeno se ingerido mesmo em baixas concentrações durante período de tempo não muito longo. Um total de 20 ppb inalado pode causar a morte de uma pessoa em poucos minutos, no entanto, sua concentração dissolvida em água pode chegar a 30.000 ppb (Oliveira et al, 1998)

Moléculas de benzeno não são facilmente assimiladas pelo organismo humano, o que dificulta sua eliminação do organismo, facilitando sua acumulação em tecidos adiposos (Cole, 1994). Essa acumulação é que favorece os efeitos crônicos desse contaminante e que corresponde à absorção de pequenas concentrações dessa substância por um período longo. Assim é que, a inalação de 0,05 ppb de benzeno durante alguns anos pode causar anemia e leucopenia, e por longo tempo evoluir para uma leucemia.

O tolueno ataca principalmente o sistema nervoso central, causando dores de cabeça, fadiga, sonolência e perda de coordenação, podendo ser fatal em alguns casos de exposição por inalação, pois impede uma respiração adequada (Guiger, 1996).

O xileno causa náuseas, vômitos, irritação do nariz e da garganta, quando inalado, e irritação e escamação da pele quando em contato dermal.

O etilbenzeno pode causar irritação nos olhos e garganta (ATSDR, 1989).

Em termos ambientais, são também os aromáticos leves que provocam maiores impactos, pois suas características de solubilidade, viscosidade e volatilidade conferem a esses compostos uma elevada mobilidade, facilitando seu acesso até a zona saturada. A maior quantidade desses compostos na gasolina que no diesel, confere ao primeiro maior potencialidade como contaminante das águas subterrâneas.

O etanol, que constitui 93% da composição do álcool etílico hidratado, não apresenta grande toxicidade apesar de alterar o comportamento e o sistema nervoso central. Quando misturado com a gasolina apresenta dois grandes problemas ambientais: primeiro, atua como co-solvente no processo de solubilização dos compostos BTEX, aumentando a mobilidade desses compostos na zona vadosa e acelerando a sua chegada até a zona saturada; depois, pode prejudicar a biodegradação dos compostos BTEX devido à sua ação inibidora do crescimento bacteriano. Em ambos os processos o etanol aumenta as possibilidades de contaminação da água subterrânea pela gasolina, seja pelo aumento da mobilidade ou pela redução dos processos de atenuação na zona vadosa.

O controle sobre os efeitos tóxicos desses combustíveis e de seus conseqüentes impactos ambientais tem sido baseado em padrões de qualidade da água para consumo humano, onde são considerados como mais problemáticos os aromáticos leves para a gasolina comum e o diesel.

MECANISMO DA CONTAMINAÇÃO POR DERIVADOS DO PETRÓLEO

Quando ocorre um vazamento de combustível, na maior das vezes a partir de um tanque que o armazena em subsuperfície, os hidrocarbonetos que o compõem em fase líquida vão migrar em função das forças de gravidade e capilar, pelo que predomina o fluxo descendente na vertical.

Ao encontrar horizontes do solo com condutividade hidráulica mais reduzida, como as argilas, esse fluxo encontra resistência, provocando um espalhamento da fase líquida desse combustível, que irá formar lentes de combustível concentrado como mostrado na figura 1. Essas lentes vão formar a *fase líquida livre* do combustível na zona vadosa.

Por descontinuidade do horizonte mais impermeável ou pela carga hidráulica representada pelo depósito dessa fase livre, sempre ocorre um "vazamento" a partir desse horizonte, continuando o com-

bustível a migrar descendente até ser novamente interceptado por outro horizonte de condutividade hidráulica mais baixa, quando vai formar nova fase líquida livre, como mostrado nessa figura.

Esse processo pode ficar restrito à zona vadosa em duas situações: quando se detecta a sua ocorrência no início do processo, podendo-se evitar que sua continuidade atinja a zona saturada; ou quando a zona vadosa é muito espessa e o vazamento é pequeno, sendo então possível que os hidrocarbonetos sejam retardados e/ou eliminados pelos processos de atenuação que podem ocorrer nessa zona.

Caso não ocorra uma dessas situações, a fase líquida continuará migrando descendente até atingir a franja capilar da zona saturada. Sendo os hidrocarbonetos menos densos que a água, será formada no topo do aquífero uma nova fase líquida livre, que tenderá a mover-se lentamente segundo os processos de advecção ou de dispersão hidrodinâmica, acompanhando o movimento da água subterrânea.

A área ocupada pela fase livre é denominada de **pluma**, tanto localizada na zona vadosa quanto na zona saturada, e tenderá a crescer, geralmente de forma elíptica, em função da inclinação do nível freático (quanto maior for o gradiente hidráulico mais estreita será a elipse). A velocidade dessa movimentação pode variar significativamente, dependendo de fatores como a velocidade do fluxo da água subterrânea, o volume do vazamento que chega ao aquífero e a condutividade hidráulica do aquífero, que pode assumir valores elevados e aleatórios no caso de aquíferos fissurais. Em geral, essa velocidade varia entre 5 m/ano e 50 m/ano, mas pode extrapolar muito esses limites.

No movimento migratório descendente, desde o tanque até atingir o aquífero, parte da fase líquida livre fica retida nos poros pelo efeito das forças capilares e de adsorção, principalmente em presença da argila. O material assim adsorvido vai formar a **fase líquida residual**, também denominada de **fase adsorvida**. Na figura 1 pode-se observar que esse material pode ser adsorvido na zona vadosa ou mesmo na zona saturada, principalmente na zona capilar.

Como muitos compostos desses combustíveis são muito solúveis em água, como os hidrocarbonetos aromáticos leves (BTEX) e os principais oxigenados (metanol e etanol), vai haver a formação de uma **fase dissolvida** dos combustíveis infiltrados quando em contato com a água.

Na zona vadosa, a fase dissolvida resulta da percolação das águas infiltradas ao longo das fases líquidas livre e residual, conforme esquematizado na figura 1.

Na zona saturada, a fase dissolvida é na maior parte consequência do contato da fase líquida livre com a água subterrânea, no que recebe também a contribuição desse contato com a fase líquida residual aí existente. O produto dessa dissolução permanece sobrenadando na zona saturada em função da menor densidade desses compostos, indo integrar, juntamente com a fase líquida livre, uma só pluma de contaminação desse aquífero.

Vale ressaltar que essa pluma pode ter um sentido de escoamento ou movimentação completamente diferente de eventuais plumas formadas na zona vadosa, pois enquanto esta é função das heterogeneidades do solo de cobertura na zona não saturada, onde a textura, a porosidade e a condutividade hidráulica influem decisivamente no direcionamento dessa pluma, aquela é função do movimento de advecção desenvolvido no aquífero e das descontinuidades que caracterizam o aquífero fissural. Ainda na zona saturada, o movimento da pluma de contaminação sofre influência da dispersão hidrodinâmica que provoca diluição das concentrações de hidrocarbonetos na fase dissolvida.

Finalmente, deve ser considerada a **fase de vapor**, resultante da volatilização de alguns hidrocarbonetos, principalmente presentes na gasolina, que apresenta uma volatilidade muito superior ao diesel.

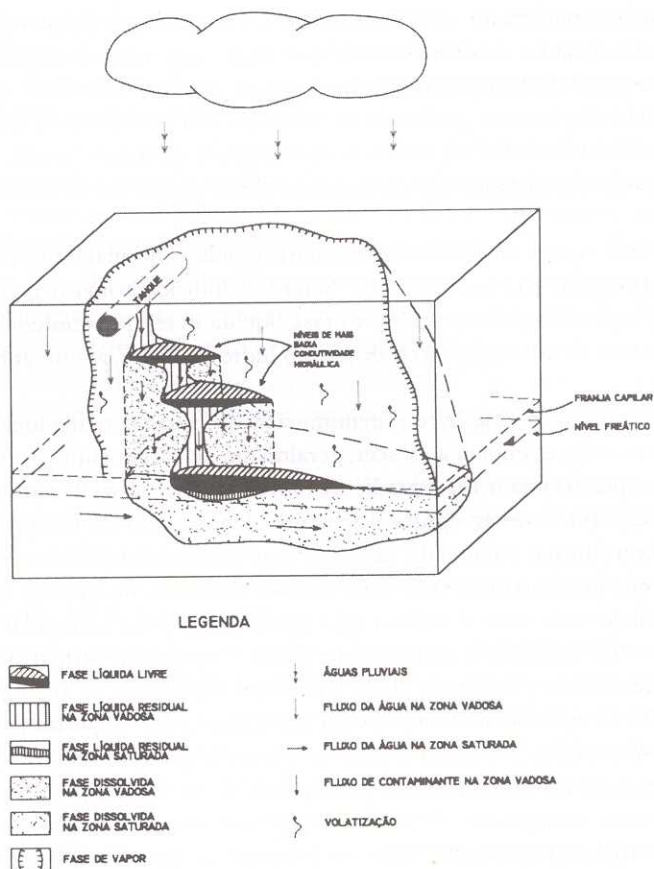


Figura I - Mecanismo da contaminação por combustíveis

A volatilização desses hidrocarbonetos ocorre principalmente a partir da fase líquida livre, com maior participação da fase livre da zona vadosa, embora possa também ocorrer na fase líquida residual e, em menor escala, a partir da fase dissolvida.

Deve-se ainda observar que os hidrocarbonetos em fase de vapor podem ser remobilizados como hidrocarbonetos em fase dissolvida pelo influxo das águas que se infiltram na zona vadosa.

Os hidrocarbonetos em fase de vapor tendem a migrar das áreas de maior pressão para áreas de baixa pressão e, como esses vapores são mais densos que o ar, podem se acumular em garagem de prédios, galerias de esgotos, caixas de telefones ou qualquer outra estrutura aberta para a atmosfera, com elevado risco de provocar explosões ou incêndios. Dependendo da profundidade dessas estruturas, até mesmo a fase líquida livre ou a fase dissolvida existentes na zona vadosa poderão migrar até estas, onde será facilitada sua volatilização com os conseqüentes riscos acima mencionados.

A exemplo da fase líquida, os vapores de hidrocarbonetos formam plumas com direção e sentido de deslocamento muito variável em função das características de textura e umidade do solo, mas, em geral, não diferem muito da pluma da fase líquida livre presente na zona vadosa, embora possa ter sentido bastante diferente da pluma contaminante do aquífero, como acima comentado.

Como os vapores de hidrocarbonetos possuem muita mobilidade, sua pluma pode ser utilizada para detecção de vazamentos e nortear melhor a investigação da fase líquida.

Em resumo, os hidrocarbonetos nas fases líquida e dissolvida representam uma maior ameaça para a qualidade das águas subterrâneas, enquanto na fase de vapor apresentam maior risco à segurança de pessoas e instalações próximas à superfície, devido à possibilidade de explosões e incêndios.

INVESTIGAÇÃO AMBIENTAL PREVENTIVA

Em algumas cidades brasileiras existe já uma legislação específica para o controle da contaminação proveniente de derivados de petróleo, principalmente através dos postos de comercialização desses produtos.

No presente trabalho abordaremos uma dessas legislações, que é adotada para a cidade de Belo Horizonte, capital do Estado de Minas Gerais. Nessa cidade, o controle ambiental desse tipo de carga contaminante é exercido através do Conselho Municipal de Meio Ambiente – CONAM – da Prefeitura Municipal.

Embora esse órgão exerça esse controle há mais de 5 anos, foi a Deliberação Normativa Nº 32/2000, publicada no Diário Oficial do Município em 21.09.00, que regulamentou definitivamente a aplicação da lei no que concerne aos impactos ambientais causados pelos postos de abastecimento de veículos e de revenda de combustíveis.

A **Investigação Ambiental** constante no Anexo 1 da Deliberação Normativa nº 32/2000 é constituída por duas partes que são executadas sucessivamente: Investigação Ambiental Preliminar; e Investigação Ambiental e Análise de Riscos.

A metodologia dos estudos de cada uma dessas etapas de investigação é a seguinte:

PARTE I: INVESTIGAÇÃO AMBIENTAL PRELIMINAR

- 1 - Caracterização do estabelecimento (identificação, localização e caracterização da área ocupada) e dos equipamentos e instalações (capacidade, características técnicas, condições, tipos, materiais de fabricação e acabamento, idade)
- 2 - Laudo técnico referente à medição e avaliação quanto à presença de hidrocarbonetos em tubulações e redes (pluvial, esgoto, água, energia e telecomunicações) existentes em torno do empreendimento num raio de 100 metros.
- 3 - Verificação quanto à presença de hidrocarbonetos em cursos d'água ou em poços existentes na vizinhança imediata.
- 4 - Histórico de vazamentos/acidentes, reformas e resultados de sindicâncias na vizinhança.
- 5 - Planta topográfica em escala compatível, identificando curvas de nível com intervalos de 1 m no máximo
- 6 - Dados geológicos e hidrogeológicos regionais e locais (preliminares), com uma avaliação hidrogeológica da área indicando a direção e o sentido do fluxo da água subsuperficial e subterrânea.
- 7 - Dados de agressividade do solo (tipo de solo, teor de umidade, estabilidade, resistividade, pH, sulfetos)
- 8 - Identificação da malha de investigação para verificação da contaminação dos solos superficiais e do manto de intemperização rochosa, com realização de pontos de *soil gas survey* (pesquisa de vapor no solo) em número suficiente, por toda a área do estabelecimento, com medições do teor de compostos orgânicos voláteis (VOC) no solo entre 0,6 e 1,5 m de profundidade
- 9 - Identificação de fontes poluidoras potenciais primárias e secundárias, vias potenciais de exposição e mecanismos de transporte de contaminantes e receptores humanos e ambientais sensíveis aos produtos (inclusive considerando instalações circunvizinhas que possam constituir-se em vias preferenciais de migração de contaminantes).
- 11 - Identificação dos procedimentos metodológicos e operacionais adotados em campo e em laboratório, da equipe técnica responsável, devidamente registrada pela anotação de responsabilidade técnica junto ao CREA
- 12 - Caracterização da extensão da contaminação utilizando-se técnicas adequadas e considerando-se o tipo de contaminante, as condições do meio e as limitações técnicas do local, tais como solo, edificações, espaço físico para instalação de equipamentos, dentre outras.
- 13 - Cronograma para a execução da investigação ambiental preliminar

PARTE II: INVESTIGAÇÃO AMBIENTAL E ANÁLISE DE RISCO

Dependendo dos resultados da pesquisa de vapor no solo, poderá ser necessário coletar dados adicionais para o aprofundamento dos estudos objetivando à completa avaliação da extensão da contaminação, de seus riscos, devendo ser executadas as atividades e atendidos os requisitos a seguir descritos, entre outros. A abrangência do estudo deve ser suficiente para a delimitação adequada da extensão da contaminação no que tange à fase livre, fase adsorvida e fase dissolvida.

A análise de riscos deverá ser efetuada aos moldes da metodologia RBCA (Risk based corrective action) desenvolvida pela ASTM – 1739/95 ou sua revisão mais recente, bem como pela norma provisória ASTM PS-104/98. Esta análise deve contemplar, dentre outros:

- 1 - Identificação, em planta na escala adequada, dos poços de captação de água (cisternas, poços rasos ou artesianos) existentes na área de abrangência da investigação, bem como do curso d'água mais próximo ao posto de combustível, se tecnicamente justificável.
- 2 - Laudos laboratoriais com análise qualitativa e quantitativa da água em todos os poços de captação existentes, bem como do curso d'água mais próximo, abordando os parâmetros PAH e BTEX de acordo com os combustíveis armazenados, com a devida referência ao padrão legal adotado e normas nacionais ou internacionais.
- 3 - Execução de sondagens para a coleta de amostras com a finalidade de elaboração de laudos laboratoriais das amostras de solo continuadas, constando a composição quantitativa e qualitativa dos parâmetros PAH e BTEX. Esta avaliação deverá ser efetuada por laboratório idôneo. Os laudos laboratoriais deverão se constituir de documentos originais em anexo ao relatório, ressaltando-se a necessidade de apresentação dos resultados do QA/QC (sistema de controle de qualidade) e cadeia de custódia, como documentação mínima de controle.
- 4 - Execução dos estudos de análise de risco, apresentando as conclusões e recomendações para a remediação do local, compreendendo a avaliação de riscos humanos e ambientais e a identificação das intervenções cabíveis e previstas para a remediação (técnicas, atenuação natural, controles), com os respectivos cronogramas.

O estudo acima deve ser conclusivo quanto à proposição de remediação ambiental, que deverá ser concebida e justificada a partir da análise de risco ambiental do cenário atual e futuro, assim determinada em função dos níveis de contaminação detectados, das condições de uso e ocupação na vizinhança e do uso dos recursos naturais superficiais e subterrâneos

FALHAS E DEFICIÊNCIAS MAIS COMUNS NA INVESTIGAÇÃO AMBIENTAL PREVENTIVA

A Deliberação Normativa nº 32/2000 da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte representa um grande avanço na busca do controle para a contaminação ambiental provocada por combustíveis líquidos no Brasil, a exemplo do que já ocorre em algumas outras capitais brasileiras. Há contudo algumas lacunas, próprias de uma legislação pioneira na região, que deverão ser avaliadas e remediadas a fim de que se obtenha uma melhor eficácia em sua aplicação.

Um exemplo disso é o item IV que diz: “Identificação da profundidade do nível d'água subsuperficial através de sondagem ou método de detecção compatível, se não houver risco dessa investigação propiciar a contaminação do lençol freático tendo em vista a existência anterior de fontes poluidoras similares”.

Essa redação parece excluir a investigação para o licenciamento ambiental corretivo, pois se o posto já existe, também está pressuposta a presença de uma fonte poluidora e, nesse caso, o risco dessa investigação contaminar o lençol freático será sempre muito grande, a não ser que se tome os cuidados necessários, o que não vem ocorrendo nas investigações ambientais desenvolvidas nesse município.

Por outro lado, a metodologia para investigação ambiental apresentada no Anexo 1 dessa deliberação cita em seu item 3 da Parte II: “execução de sondagem para a coleta de amostras com a finalidade de elaboração de laudos laboratoriais das amostras de solo continuadas, constando a composição quantitativa e qualitativa dos parâmetros PAH e BTEX”. Falta portanto, nessa metodologia, exigir também a coleta de água subterrânea nessas sondagens para a análise de PAH e BTEX, sob pena de investigar apenas a zona vadosa e excluir a mais importante avaliação de impacto ambiental, que é a contaminação do aquífero.

Falta ainda, a nosso ver, quantificar o número mínimo de sondagens necessárias para os dois níveis de investigação, pois na fase preliminar o número de sondagens rasas (até 1,5 m) para investigação do VOC tem variado desde 4 até 15 e na segunda fase as sondagens profundas têm variado entre 1 e 3.

Recomenda-se, portanto, um número mínimo de 10 sondagens para determinação de VOC e de 3 sondagens profundas para a segunda fase, devendo todas as sondagens profundas serem concluídas 2 m abaixo do nível freático.

Porém o mais importante a observar nessa investigação é a localização das sondagens profundas, pois a sua correta locação tem os seguintes objetivos: definir com mais acurácia o sentido do fluxo subterrâneo no aquífero; definir os limites e sentido de deslocamento da pluma de contaminação no aquífero; evitar a contaminação do aquífero a partir da fase livre ou dissolvida na zona vadosa.

Para conseguir esses objetivos, essa localização deve ser realizada com a supervisão de um hidrogeólogo, principalmente por parte do órgão fiscalizador, o que não parece estar ocorrendo em Belo Horizonte.

Como exemplo dessa deficiência, citaremos o caso apresentado na figura 2, sem citar o local nem a empresa responsável pelas investigações. Nesse caso pode-se observar inúmeros erros de investigação.

Em primeiro lugar, as sondagens profundas foram alinhadas ao longo do eixo da pluma de VOC, na pressuposição de que a pluma de contaminação do aquífero seria exatamente igual em direção e sentido à pluma de vapor na zona vadosa, o que nem sempre acontece, conforme já referido anteriormente.

Mas o maior problema dessa investigação foi a localização dessas sondagens exatamente ao longo da pluma de VOC, quando a concentração superior a 1000 ppm já é um forte indício da presença da fase livre na zona vadosa. Nesse caso, a sondagem S-03, localizada entre os pontos de maior concentração de VOC (P-20, P-15 e P-16), conforme indicado na Figura 2, pode ter sido a responsável pela contaminação da água subterrânea constatada nessa sondagem (BTEX = 4.060 mg/L e TPH = 1.600 µg/L). O fato torna-se mais grave por ter sido essa sondagem transformada em poço de monitoramento, constituindo assim, um foco permanente de contaminação para esse aquífero.

Outra grande falha dessa investigação foi parar as sondagens S-01 e S-02 respectivamente a 9,0 e 9,5 m de profundidade, sem atingir o nível freático, que foi interceptado na sondagem S-03 a 10,5 m de profundidade, ou seja, 1,0 m a mais que as anteriores.

Sem atingir o nível freático nas sondagens S-01 e S-02 não seria possível indicar a direção do fluxo do freático, como se acha apresentado na Figura 2. Ainda que tivesse esse nível sido atingido nessas sondagens, não seria possível definir com precisão o sentido desse fluxo por estarem as três sondagens localizadas ao longo de uma linha reta.

Nota-se, assim, uma sucessão de erros nessa investigação, alguns de suma gravidade, propiciando a contaminação do aquífero, como a localização das sondagens profundas ao longo das maiores concentrações de VOC, tudo por falta de uma melhor orientação de um hidrogeólogo.

Uma outra deficiência na legislação praticada pela Prefeitura Municipal de Belo Horizonte refere-se ao raio de investigação de 100 m.

No caso apresentado na figura 2, por coincidência, constata-se o risco que essa limitação de investigação impõe à vizinhança dos postos investigados, pois a 200 m de distância do limite norte

desse posto, ou seja, a jusante do foco de contaminação já constatado para esse aquífero, existe uma fábrica de refrigerantes que utiliza a água subterrânea através de 3 poços tubulares para a fabricação desse produto.

Como as sondagens S-01 e S-02 não atingiram o aquífero, constitui uma grande incógnita saber se a pluma de contaminação do aquífero já ultrapassou os limites desse posto e se já não atingiu a fábrica de refrigerantes.

Fatos como esse devem servir de alerta para que se priorize a delimitação exata da pluma de contaminação do aquífero quando constatada a sua existência e, sobretudo, que se defina melhor para tais casos a vizinhança existente num raio mínimo de 300 m. Também imprescindível deve ser a determinação da velocidade de propagação da pluma de contaminação, condição *sine qua non* para definir o tempo em que a mesma atingirá eventuais pontos críticos em termos de captação da água subterrânea a jusante da fonte de contaminação.

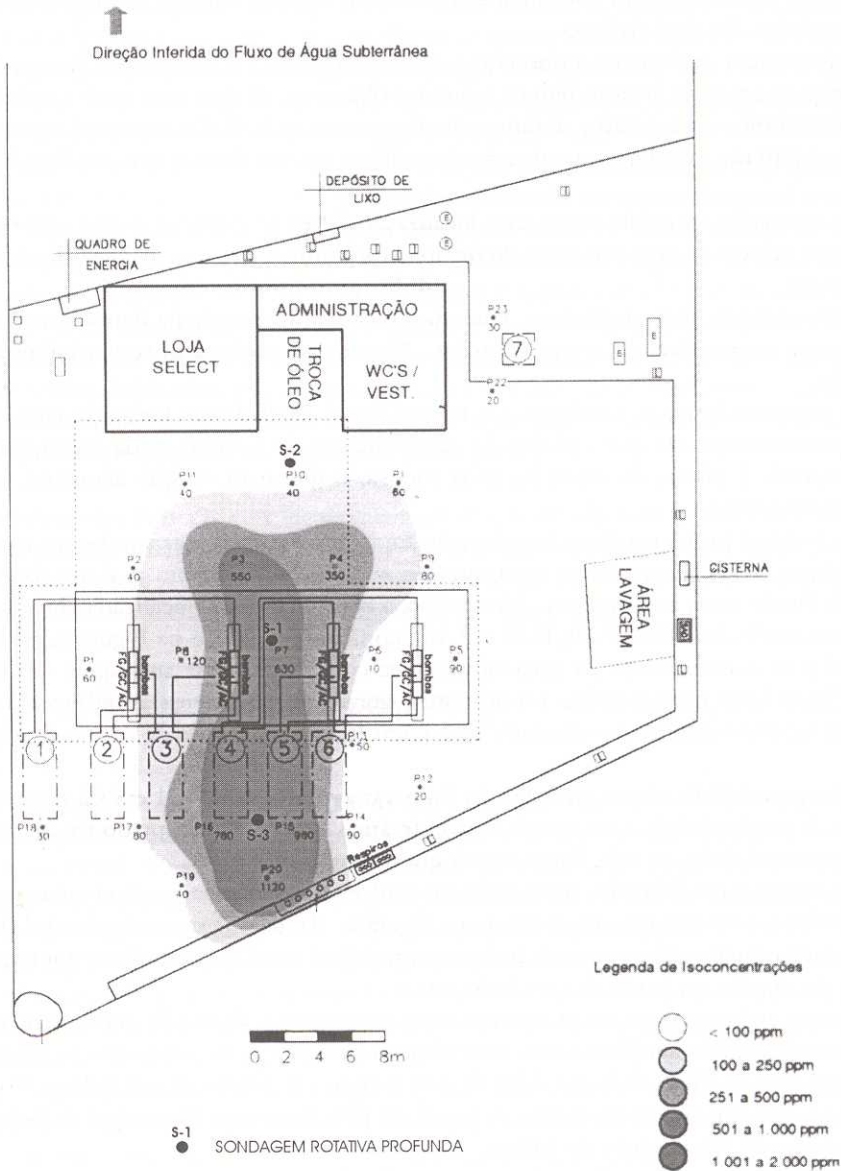


Figura 2 - Investigação em posto de combustível

Deve ainda ficar a cargo de um hidrogeólogo experiente a decisão de estender as investigações sempre que detectada a chegada da fase livre do combustível ao aquífero, evitando qualquer risco de contaminação na vizinhança do posto investigado, principalmente quando constatada a utilização da água subterrânea para o consumo humano, doméstico ou industrial, como no caso acima citado.

Finalmente, deve-se levar em conta que a análise de riscos preconizada nos moldes da metodologia RBCA prioriza a avaliação de riscos humanos, sendo constatados inúmeros casos em Belo Horizonte em que a contaminação do aquífero era patente, porém não foram tomadas medidas de remediação porque a análise de riscos demonstrou não haver qualquer problema para os usuários e funcionários do posto investigado.

BIBLIOGRAFIA

- ATSDR – 1989 – Agency for Toxic Substances and Disease Registry – Public Health Statement. Documento disponibilizado pela Internet: <http://atsdr1.atsdr.adc.gov.8080/ToxProfiles>.
- BICALHO, K.V. – 1997 – *Dissolução de Gasolina em Presença de Água e Etanol*. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – Tese de Doutorado inédita.
- COLE, G.M. – 1994 – *Assessment and Remediation of Petroleum Contaminated Sites*-Boca Raton, FL, USA:Lewis Publishers, 360 p.
- CORSEUIL, H.X. e MARINS, M.D.M. – 1997 – *Contaminação de Águas Subterrâneas por Derramamentos de Gasolina: O Problema é Grave?* Revista Engenharia Sanitária e Ambiental
- CORSEUIL, H.X. e ALVAREZ, P.J.J. – 1996 – *Natural Bioremediation Perspective for BTX-Contaminated Groundwater in Brazil: Effect of Ethanol*. Wat.Sci.Tech.. v. 34, n.7-8
- DIAS, C.L.; LEMOS, M.M.G.; CAPELETI, A.; CASARINI, D.C.P. – 1998 – *Derivação de Valores de Intervenção para chumbo, benzeno e tetracloroetileno utilizando o modelo de avaliação de risco C-Soil, para controle da contaminação de solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo* – X Cong. Bras. de Águas Subterrâneas – ABAS – Rio de Janeiro.
- FERNANDES, M. – 1997 – *Influência do Etanol na Solubilidade de Hidrocarbonetos Monoaromáticos em Aquíferos Contaminados com Gasolina* – Universidade Federal de Santa Catarina – Dissertação de Mestrado inédita.
- GUIGER, N. – 1996 - *Poluição das Águas Subterrâneas e do Solo causada por vazamentos em postos de abastecimento* – Waterloo Hidrogeologia Inc. – Ontário – Canadá.
- KOLESNIKOVAS, C. – 1998 – *Análise Comparativa entre Métodos Determinísticos e Amostragens Reais no cálculo da Análise de Risco para Inalação de Compostos Orgânicos Voláteis a partir de Emissões no Solo*. – X Cong. Bras. de Águas Subterrâneas – ABAS – Rio de Janeiro
- OLIVEIRA, L.I. de; LOUREIRO, C. de O. – 1998 – *Contaminação de Aquíferos por Combustíveis Orgânicos em Belo Horizonte: Avaliação Preliminar*. – X Cong. Bras. de Águas Subterrâneas – ABAS – Rio de Janeiro.
- OLIVEIRA, E. de; BARKER, J.F.; BANKS, J. – 1998 – *Efeitos da Variação do Nível d'água em Fase Livre de Gasolina pura e de Gasolina com Etanol* – X Cong. Bras. de Águas Subterrâneas – ABAS – Rio de Janeiro
- OLIVEIRA, E. de; CLEARY, R.W.; CUNHA, R.C.A.; PACHECO, A. – 1990 – *Gasoline Hydrocarbons: Groundwater Pollution Potential in Metropolitan São Paulo* – Intern. Semin. of Pollution, Protection and Control of Groundwater – ABAS – Porto Alegre
- OLIVEIRA, E. de – 1992 – *Contaminação de Aquíferos por Hidrocarbonetos Provenientes de Vazamentos de Tanques de Armazenamento Subterrâneo* – IGC/USP – Dissertação de Mestrado inédita.