

## **UTILIZAÇÃO DE MEIOS CONSTRUTIVOS EM OBRAS CIVIS COMO ALTERNATIVA DE REMEDIAÇÃO – PAREDES DIAFRAGMAS**

Alexandre R. Picchi<sup>1</sup>; Patrícia H. L. S Matai;<sup>2</sup> Sérgio P. Pereira<sup>3</sup>

### **RESUMO**

Áreas em que se observa a existência de fontes de contaminação secundária, como solo (superficial e subsuperficial) e água subterrânea impactados por derivados de combustíveis, principalmente Gasolina e óleo Diesel (também se pode incluir os lubrificantes automotivos) nas quais seus componentes químicos apresentam-se em concentrações superiores aos valores de intervenção e que podem representar risco toxicológico para um uso futuro para a área. Deste modo, o confinamento da contaminação para sua remoção durante a fase de obras é uma alternativa, já que o período de exposição torna-se reduzido. Um dos principais métodos para confinamento da contaminação na água subterrânea é a execução de parede diafragma, uma vez que se trata de compostos menos densos que a água. Em locais onde se pretende construir subsolos essa alternativa deve ser estudada, pois o solo de regiões que tiveram derramamento de combustíveis, grande parte dos contaminantes são adsorvidos no solo e degrada-se naturalmente ou por ação biológica (processo lento), porém, a qualidade do solo permanece totalmente comprometida (frações de difícil degradação, ou produtos de degradação), devendo ser removido (após classificação) e destinado adequadamente ou esses compostos devem ser destruídos (oxidação química), podendo o material tratado ser destinado adequadamente.

### **ABSTRACT**

Areas that observed secondary sources of contamination such as soil (surface and subsurface) and groundwater impacted by fuel derivatives, mainly gasoline and diesel (also including automotive lubricants) where their chemical components are present in concentrations above the intervention values and which may represent toxicological risk to a future use for the area. Therefore the containment of the contamination for its removal during the works phase is an alternative, since the period of exposure becomes reduced. One of the main methods for containment of contamination in groundwater is the execution

<sup>1</sup> Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Energia da USP – alexandre.picchi@usp.br

<sup>2</sup> Programa de Pós-Graduação em Energia da USP e Escola Politécnica da USP – Orientador – pmatai@usp.br

<sup>3</sup> ConAm Consultoria Ambiental Ltda. – sergiop@conam.eng.br

of a diaphragm wall, since the contaminants are compounds less dense than water. In places where it is intended the construction of basements this alternative should be studied, because the soil in which fuel has been spilled, most contaminants are adsorbed to the soil and degraded naturally or by biological action (slow process), however the quality of the soil remains fully compromised (fractions of hard degradation, or degradation products), and it should be removed (after classification) and destined properly or these compounds should be destroyed (chemical oxidation), and the material can be treated and properly destined.

(Palavras Chave: Parede Diafragma; Remediação; Combustíveis; Contaminação)

## **1 INTRODUÇÃO**

O Estado de São Paulo possui um dos principais órgãos ambientais do país, a Cetesb, à qual é atribuída grande parte do Poder de Polícia delegado do Estado para exercer o licenciamento e fiscalização das atividades com potencial de alteração e degradação do meio ambiente. Dentro desta perspectiva, o Estado Paulista é o pioneiro no controle e exigência de investigações de passivo ambiental, tanto na renovação de licenças quanto no encerramento de atividades industriais ou com potencial de contaminação. Nesta mesma linha, no ano de 2002, a Cetesb iniciou a convocação dos postos de combustíveis para que providenciassem a licença ambiental necessária ao funcionamento do empreendimento (visando à adequação ao disposto na resolução 273 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – Conama – publicada em 2000, que dispõe sobre prevenção e controle da poluição em postos de combustíveis e serviços).[1]

No cadastro de áreas contaminadas da Cetesb cerca de 80% dos registros são relacionados a postos de combustíveis (Cetesb 2008), o que não significa diretamente que somente aqueles sejam os principais contaminadores do solo e água subterrânea. Muitas indústrias são responsáveis por contaminações (inclusive devido ao seu próprio armazenamento de combustíveis, utilizados como fonte de energia), porém, nem todas ainda têm seus solos e águas subterrâneas investigados em relação a contaminações decorrentes do uso histórico da área, diferente da situação dos postos de combustíveis, cuja investigação de passivo ambiental é obrigatória, indicando a tendência dos maiores

números de registros como áreas contaminadas no cadastro (estão em maior quantidade devido de serem o maior volume de áreas investigadas).

Porém, muitos dos postos de combustíveis em que se detectaram contaminação (após 2002), em especial os de “bandeira branca” (não pertencentes a um grupo ou rede de grandes revendedores de combustíveis), não tem (tinham) capacidade ou interesse de solucionar esse passivo ambiental, o que resultou em sua lacração e impedimento de operação juntamente com a não concessão do licenciamento. Nessas áreas, a primeira atitude a ser tomada é remoção ou extinção da fonte de contaminação primária. Áreas como essas, muitas vezes ocupam terrenos de localização privilegiada de grande interesse comercial, haja vista a expansão vertical urbana crescente nos últimos 5 anos.

Pela restrição espacial, os projetos de reocupação dessas áreas contemplam a execução de subsolos, fato que pode ser utilizado como forma de remoção do passivo pré-existente no local. Esse tipo de intervenção civil deve garantir a remoção de toda a contaminação existente no interior do site, assegurando o uso futuro. Para remoção de contaminantes da água subterrânea, a utilização de parede diafragma apresenta um dos melhores resultados, uma vez que reduz o volume necessário para bombeamento, além de garantir que contaminações externas que possam existir não sejam aportadas para a área de interesse.

## **2 OBJETIVO**

Apresentar a técnica e viabilidade da conciliação de medidas construtivas de um futuro empreendimento, com medidas de remediação, situação que pode representar uma maior agilidade do processo de revitalização e reocupação das áreas degradadas, além de reduzir os custos vinculados com o tratamento da contaminação, embora esse método represente uma transferência da contaminação para um aterro capacitado ou tratamento externo.

## **3 METODOLOGIA**

A metodologia utilizada baseou-se no raciocínio indutivo onde a generalização deriva de observações de casos da realidade concreta. As constatações particulares levam à elaboração de generalizações.

O processo construtivo da parede diafragma, onde as escavações são realizadas posteriormente ao processo construtivo da parede, possibilita a segregação do solo contaminado e tratamento da água subterrânea. Isto é possível também devido às

propriedades dos componentes dos combustíveis em questão (alguns são menos densos que a água permanecendo na interface solo / água subterrânea; outros são poucos móveis, permanecendo no solo).

Diante dos aspectos dos processos construtivos e dos tipos de remediação utilizados em áreas contaminadas, a conciliação dos dois procedimentos pode significar redução de custos e ganhos de prazo.

Porém, para realizar esse tipo de intervenção, deve ser garantida a ausência de riscos toxicológicos aos operadores (em situações especiais, pode se cogitar o uso de EPIs como forma de redução na exposição). Para essa avaliação utilizam-se programas de simulação das probabilidades de risco, como o RISC (desenvolvido pela BP Oil), RBCA (desenvolvido pela GSI Environmental Inc.) ou planilhas próprias para tal simulação. Estes programas de risco modelam as características físicas e hidrogeológicas da área, juntamente com os contaminantes envolvidos, simulando os riscos toxicológicos mediante a definição dos cenários de exposição definidos.

#### **4 PROBLEMATIZAÇÃO E JUSTIFICATIVAS - INVESTIGAÇÕES DE PASSIVO AMBIENTAL**

Atualmente as atividades com potencial de contaminação operantes no Estado de São Paulo, na obtenção de renovação da licença operacional, precisam realizar a investigação de passivo ambiental (condicionamento à obtenção da licença, dentre outras exigências).

Na obtenção do licenciamento ambiental para os postos de combustíveis (iniciado em 2002) e sistemas de abastecimento de combustíveis era necessário a apresentação de uma análise (investigação) de passivo ambiental da área ocupada pelo posto, indicando a presença ou não de contaminação do solo e/ou da água subterrânea. Caso fosse diagnosticada contaminação, o posto de combustível precisaria delimitar a contaminação e após a delimitação, verificar se as concentrações diagnosticadas representavam risco toxicológico à saúde humana para o uso da área (como posto de combustível). Ressalta-se que, na presença de fase livre é entendida a existência de risco iminente, ou seja, não é necessário fazer a análise de risco toxicológico, uma vez que o contaminante está presente em fase bruta.

Na presença de risco toxicológico, o posto de combustível deveria realizar medidas de intervenção do tipo remediação. Essas medidas visariam à redução das concentrações

existentes a fim de tornar a área novamente apta ao uso declarado. Na ausência de risco seria necessária a adoção de medidas preventivas ou de contenção para evitar o aumento dos níveis de contaminação, sendo necessário o monitoramento de acompanhamento periódico.

Muitos dos postos de combustíveis acabam adotando o sistema de extração multifásica (extração de vapores juntamente com bombeamento e tratamento de água subterrânea), porém, devido às condições geológicas regionais (Estado de São Paulo, solo prioritariamente argiloso) a probabilidade desse tipo de sistema ser ineficaz é grande. Apesar de inicialmente as concentrações serem reduzidas a níveis de possibilitar a atividade do posto, ao cessar o bombeamento, o retorno de níveis de contaminação (*rebound*) similares ao inicial é de grande ocorrência e probabilidade, principalmente na maior parte do Estado de São Paulo, devido ao grande poder sorçivo dos solos. Em longo prazo, a execução do sistema de bombeamento acaba tornando-se inviável, o que para alguns pequenos comerciantes pode significar a falência ou desistência do negócio. Outras técnicas de remediação na qual ocorre a destruição *in situ* do contaminante tem-se tornado cada vez mais acessível, chegando a ser mais econômico quando avaliado dentro de um fluxo de caixa.

Principalmente os postos de combustíveis do tipo “bandeira branca”, muitas vezes não se interessam ou não dispõem de condições de realizar todo o gerenciamento da contaminação. Desta maneira, muitas dessas áreas atraem o interesse do ramo imobiliário. A ocupação dessas áreas requer o tratamento do passivo ambiental gerado no uso anterior. Por outro lado, como as áreas são pequenas, os novos empreendimentos na busca de melhor administrar o espaço, necessitam de subsolos. Nesta situação surge a conciliação da construção civil como etapa de remediação.

## **5 PAREDE DIAFRAGMA**

A parede diafragma é uma barreira do tipo vertical que pode impedir principalmente o fluxo de água contaminada. Esse tipo de barreira é muito eficiente nos casos de contaminação por derivados de petróleo, que geralmente são menos densos do que a água.

Trata-se de contenção definitiva obtida pela escavação e colocação de estacas de concreto armado. O “buraco” formado pela escavação é preenchido por lama bentonítica. Essa lama é preparada através de mistura de uma argila montimorilonítica especial, que

refinada com água, tem a propriedade de equilibrar a pressão exercida pelo solo e pela água nele presente. Terminada a escavação, na sua extremidade é colocado um tubo de aço que permite iniciar a concretagem. Antes, é colocada a armação de aço da parede e um concreto bastante plástico é vertido preenchendo o buraco de baixo para cima, expulsando a lama que é recolhida para posterior aproveitamento e mais posteriormente para um destino final adequado. Após o concreto adquirir uma certa resistência, o tubo de aço é removido e o processo se inicia (a armação é colocada em blocos). [2]

A escavação dos buracos pode ser feita com diversos equipamentos, que tem a função de não somente escavar o solo em si, mas também permitir a separação entre o material e a lama. O material de escavação a ser utilizado depende do tipo de solo e da profundidade de escavação. Pode-se utilizar retroescavadeiras e pás de arrasto, que, no entanto, apresentam limitações na profundidade de escavação, respectivamente, da ordem de 10 e 20 metros.[2]

A solução mais usual é a utilização de uma concha ou *clamshell* com dimensões apropriadas, com acionamento por cabos ou hidráulica (posicionada e operada junto com um guindaste).

A parede diafragma é uma solução bastante versátil, que apresenta como vantagens principais a velocidade de execução, a facilidade de trabalhar em solos de consistência desfavorável e na presença de água, e o fato de sua execução poder se dar sem causar barulhos ou vibrações.[2]

Para a execução da parede diafragma é necessário o conhecimento das características geotécnicas e hidrogeológicas do local, devendo ser elaborado todo o projeto de execução que deve abordar as etapas de preparo e instalação do canteiro; de execução das paredes guias; de posicionamento da diafragmadora (*clamshell*); de escavação do painel com a diafragmadora e preenchimento simultâneo da escavação com lama bentonítica previamente preparada, com posterior limpeza; de colocação da armadura dentro do painel preenchido com lama, das juntas ou junta (tubos ou chapas) e da chapa espelho quando for o caso e não houver restrições técnicas; de concretagem submersa do painel; e de retirada da chapa-junta. [2]

A profundidade da parede está relacionada também com a estabilização do prédio que será construído, ou seja, muitas vezes pode ser bem superior em profundidade do que a cota do último subsolo.

Caso a parede diafragma venha a interceptar parte da contaminação, o solo removido deve ser segregado e caracterizado para destinação adequada, ou tratamento *in situ*.

Na Figura 1 pode-se verificar o *layout* da área de um antigo posto de combustíveis, cuja contaminação estará confinada pela parede diafragma que será construída, o que implicará em maior agilidade do processo de remediação e melhor segregação e tratamento do material.

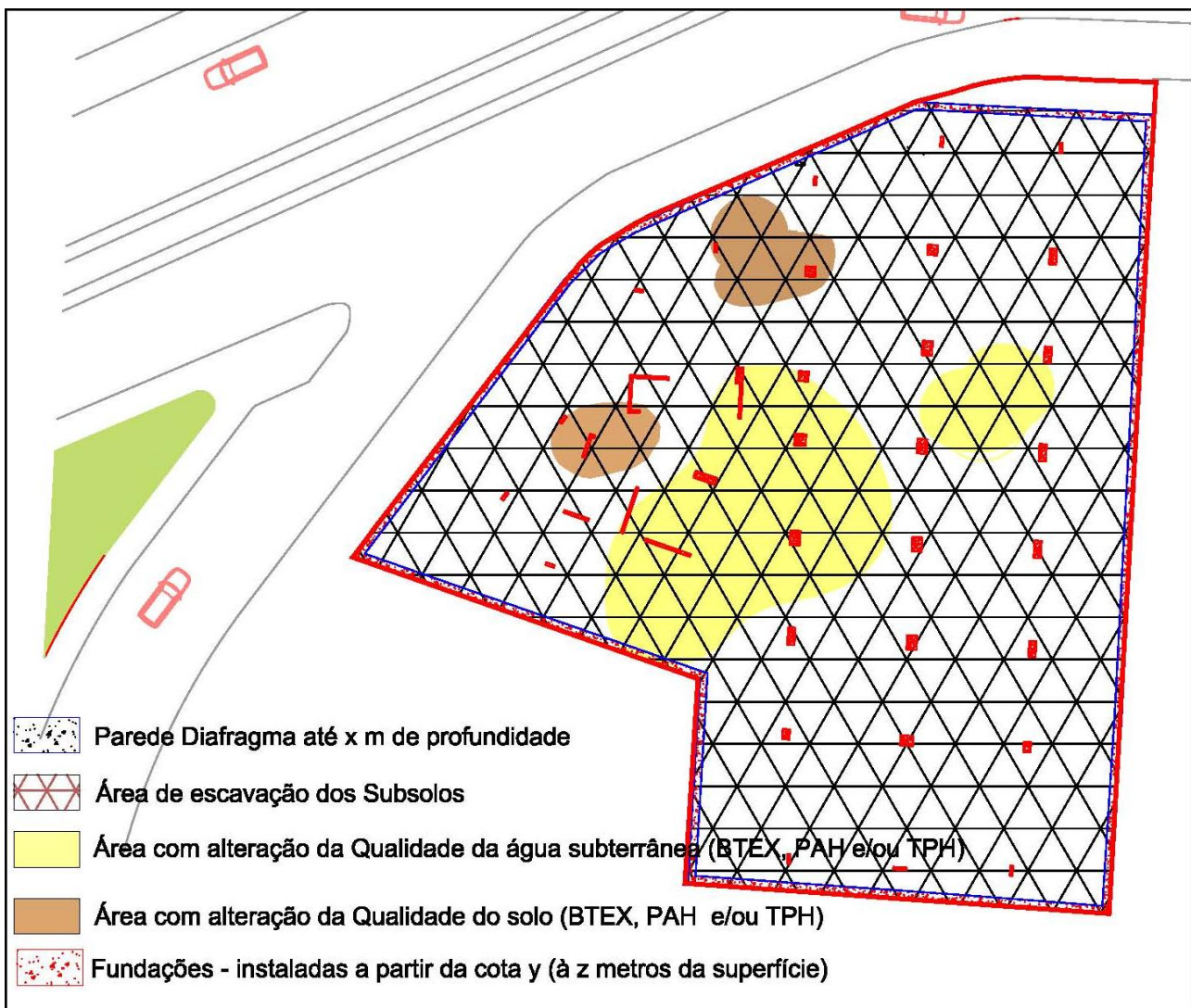


Figura 1 – Representação da pluma de contaminação e da parede diafragma

Fonte: ConAm Consultoria Ambiental Ltda.[3]

## 6 PRINCIPAIS CONTAMINANTES ENVOLVIDOS E RISCO ASSOCIADO

A origem da contaminação do solo e/ou água subterrâneas provém de vazamentos do sistema de adução (linhas e bombas) ou do sistema de armazenamento, que

geralmente é subterrâneo (SASC – Sistema de Armazenamento Subterrâneo de Combustíveis).

A gasolina é um combustível constituído basicamente por hidrocarbonetos e, em menor quantidade, por substâncias cuja fórmula química contém átomos de enxofre, nitrogênio, metais, oxigênio etc. Os hidrocarbonetos que compõem a gasolina são, em geral, mais "leves" do que aqueles que compõem o óleo diesel, pois são formados por moléculas de menor cadeia carbônica (normalmente cadeias de 6 a 12 átomos de carbono). Os hidrocarbonetos monoaromáticos, dentre eles o benzeno, tolueno, etilbenzeno e os três xilenos *orto*, *meta* e *para*, chamados compostos BTEX, são os constituintes da gasolina que têm maior solubilidade em água e, portanto, são os contaminantes que primeiro irão atingir o lençol freático pois migram juntamente com a água infiltrada. Estes contaminantes são considerados substâncias perigosas por serem depressantes do sistema nervoso central e por causarem leucemia em exposições crônicas. Dentre os BTEX, o benzeno é considerado o mais tóxico com padrão de potabilidade de 0,005 mg/L. Na gasolina comum (na forma pura e na forma definida pela legislação – com concentrações de etanol entre 20 a 24%) cerca de 13 a 18% correspondem aos compostos BTEX, apresentados na Tabela 1. A maior parte da composição restante é formada por outros hidrocarbonetos aromáticos [4]

**Tabela 1 – Distribuição dos BTEX na concentração da Gasolina Comum**

Compostos	% em massa (em relação ao peso total)	
	Gasolina Pura *	Gasolina (com etanol)**
Benzeno	1,98	0,80***
Tolueno	4,68	4,35
Etilbenzeno	1,98	1,65
orto-xileno	2,16	2,10
meta-xileno e para-xileno	7,20	5,15

\* Virginia Tech [5]

\*\* Filho, G. B. C. [6]

\*\*\* Resolução ANP limita a 1%

O óleo diesel é composto por hidrocarbonetos mais "pesados" do que aqueles que compõem a gasolina, pois são formados por moléculas de maior cadeia carbônica (normalmente cadeias de 15 a 18 átomos de carbono). Para o óleo diesel, os componentes que apresentam maior atenção e preocupação estão relacionados com os PAHs - hidrocarbonetos aromáticos policíclicos ou polinucleares (família de compostos caracterizada por possuir 2 ou mais anéis aromáticos condensados), que de acordo com



a legislação brasileira correspondem a cerca de 3% a 6% do diesel. No óleo diesel também são encontrados PAHs ligados a nitrogênio (como o carbazole) e enxofre (como o dibenzothiofeno). A Tabela 2 apresenta a composição dos principais PAHs presentes no óleo Diesel. Como o óleo diesel é obtido de petróleos de diferentes procedências, essa composição pode apresentar variações.

**Tabela 2 – Distribuição dos PAHs na concentração do Diesel**

<b>Compostos</b>	<b>Concentração média em ppm*</b>
Naftaleno	220
Metilnaftalenos	2900
Dimetilnaftalenos	6900
Acenafteno	760
Trimetilnaftalenos	2880
Fluoreno	520
Metilfluorenos	1580
Fenantreno	800
Antraceno	150
Metilfenantrenos	1960
Dimetilfenantrenos	260
Fluoranteno	160
Pireno	120
Metilfluorantenos	<30
Benzo[a]antraceno	<5
Criseno	<10
3-metilcriseno	<10
6-metilcriseno	<5
Benzo[e]pireno	<1
Benzo[a]pireno	<1
Perileno	<1

\* obtida da média aritmética dos combustíveis apresentados em [7]

Para os óleos lubrificantes, a composição é ainda mais “pesada” que o Diesel, sendo compostos por hidrocarbonetos de cadeias longas (cadeias maiores do que 20 átomos de carbono), sendo identificados em solo e água subterrâneas através da análise de TPH-FP (Hidrocarbonetos totais de petróleo – *fingerprint* ou fracionado), de onde também pode-se obter parte dos hidrocarbonetos que compõem a gasolina e o diesel. Em óleos lubrificantes usados também são detectados alguns tipos de PAHs.

Para avaliação da tolerância de concentrações dos compostos no solo e/ou na água subterrânea, deve ser realizada a simulação de risco para a saúde humana dos

operadores. O cálculo não considera o uso de equipamentos de proteção individual (situação que poderia permitir maiores concentrações para uma determinada via, uma vez que seria reduzida a exposição). A Tabela 3 apresenta um exemplo de concentrações obtidas para uma área onde se adotou o procedimento que está sendo descrito neste trabalho (na simulação de risco considerou inalação e contato dermal). Essa área apresentou contaminação no solo e na água subterrânea. A Tabela 4 apresenta os parâmetros utilizados para essa simulação. Também foram utilizados os parâmetros geotécnicos da área, que não são apresentadas neste trabalho.

A análise de risco deve contemplar todos os compostos identificados nas investigações ambientais em concentrações superiores aos valores de intervenção pré-definidos.

**Tabela 3 – Concentrações máximas encontradas e concentrações máximas permitidas**

Composto	Concentração máxima encontrada		Solubilidade Química (mg/L)	Concentração baseada em risco	
	Água Sub. (mg/l)	Solo (mg/kg)		Água Sub. (mg/l)	Solo (mg/kg)
Benzeno	5,30E-01	-	1,8+03	9,0E+00**	
Benzo(b)fluoranteno	7,62E-04	3,18E+00	1,5E-03	3,4E-02**	2,2E+02**
Benzo(ghi)perileno	4,54E-04	-	7,0E-04	1,0E+06*	-
Etilbenzeno	1,60E+00	-	1,7E+02	2,2E+02**	-
Indeno(1,2,3-cd)pireno	3,05E-04	-	2,5E-03	1,1E-03**	-
Naftaleno	8,78E-01	-	3,1E+01	1,7E+00*	-
TPH C10/C12	7,96E+00	-	2,5E+01	8,3E+01*	-
TPH C12/C16	6,21E+00	-	5,8E+00	8,5E+01*	-
Xilenos	5,04E+00	1,58E+02	1,1E+02	3,6E+01*	3,0E+05*

\* Não Carcinogênico

\*\* Carcinogênico

Neste trabalho não são explicitados os problemas toxicológicos relacionados a cada composto, sendo somente abordada a análise probabilística de risco, que pode ser definida como a probabilidade de ocorrência de dano decorrente de uma exposição à um composto químico ou grupo de compostos.

A concentração baseada em risco considera o grupo de compostos detectados, juntamente com seus efeitos sinérgicos.

**Tabela 4 – Parâmetros de Exposição adotados na Análise de Risco**

Parâmetros de Exposição	Área comercial
	Trabalhador de obra
Meta para risco carcinogênico	1,00E-05
Meta de índice de perigo para não carcinogênicos	1
Tempo de avaliação para efeitos carcinogênicos (anos)	68
Tempo de avaliação para efeitos não carcinogênicos (anos)	1
Massa corpórea (kg)	60
Duração de exposição (anos)	1
Frequência de exposição (dias/ano)	270
Duração de exposição por dia em ambiente fechado (horas)	-
Duração de exposição por dia em ambiente aberto (horas)	12
Área superficial da pele disponível para contato (cm <sup>2</sup> )	3180
Distância entre a contaminação e a exposição (m)	0,001

Fonte: ConAm Consultoria Ambiental [3]

A presença de etanol na gasolina brasileira veio como forma de reduzir a detonação do combustível num motor a combustão interna (substituindo pelo chumbo, devido a problemas ambientais e de saúde pública). Porém, no caso de um vazamento dessa gasolina ou de um outro sistema de abastecimento com etanol, haverá a presença de compostos oxigenados, parcial ou completamente miscíveis na água, que são considerados co-solventes, pois, ao se dissolverem na água, reduzem a polaridade da fase aquosa, causando uma redução do coeficiente de atividade desta fase e permitindo uma maior concentração de compostos orgânicos hidrofóbicos na água. Além disto, a presença de co-solventes reduz a tensão interfacial, aumentando a mobilidade da fase não-aquosa e diminuindo o grau de saturação residual desta fase. A influência destes compostos oxigenados na solubilidade de um soluto é referida como efeito de co-solvência [6]. Devido a essa propriedade, a solubilidade dos BTEX acaba aumentando, o que facilita sua migração na água subterrânea e no solo. Além da alteração na solubilidade dos constituintes presentes na gasolina devido à presença de etanol neste combustível, também ocorrem modificações nas forças capilares, densidade, viscosidade, entre outras propriedades. As forças capilares têm um papel fundamental no comportamento de fluxos multifásicos. A adição de etanol à gasolina altera a natureza do fenômeno capilar, afetando a infiltração e distribuição no lençol freático devido à redução das tensões interfacial e superficial entre as fases. Essas tensões são responsáveis pelas forças interfaciais, que resultam na retenção de gasolina na zona não saturada e saturada e, também, interferem na transferência de massa entre as fases. [6]

Devido à redução na força capilar em função da redução da tensão interfacial e superficial, há um decréscimo da altura de ascensão da franja capilar e, conseqüentemente, a profundidade de acúmulo da gasolina (menos densa do que a água) será alterada. A redução da tensão interfacial resulta na diminuição da espessura da lente de gasolina e em um aumento da extensão da contaminação. Ainda, a gasolina pode entrar em poros menores, afetando potencialmente a distribuição na zona vadosa e na lente de gasolina sobre o lençol freático. Uma menor quantidade de gasolina fica retida na zona vadosa, após um derramamento de gasolina com etanol, se comparada com gasolina pura, uma vez que a redução das tensões interfacial e superficial resulta em uma drenagem mais completa dos fluidos nesta região e em um aumento do transporte de contaminante da zona vadosa para a região saturada. [6]

O etanol se degrada, preferencialmente, antes que os constituintes BTEX e o consumo do oxigênio e outros aceptores de elétrons presentes no subsolo, retarda ou até mesmo impede a atenuação natural destes constituintes da pluma. Isto se dá em função dos microrganismos aeróbios consumirem todo o oxigênio para a degradação do etanol e os anaeróbios levarem mais tempo para degradar os constituintes BTEX. Portanto, após um vazamento de gasolina com etanol, por exemplo, eventualmente será observada uma pluma de BTEX maior do que para um vazamento de gasolina pura.[6]

Em adição aos fatos descritos, a presença do etanol também pode alterar a estrutura de poros de uma argila e, conseqüentemente, afetar a migração da gasolina através do subsolo. Uma camada de argila, em geral, por possuir baixa permeabilidade aos NAPLs (*Non-Aqueous Phase Liquids*), faz com que o contaminante se acumule acima desta e se espalhe lateralmente na zona não saturada. Dessa forma, modificações na estrutura porosa da argila, eventualmente, podem aumentar a permeabilidade deste material à gasolina com etanol, reduzindo o acúmulo e o espalhamento e, potencialmente, aumentar a infiltração deste contaminante para o lençol freático. [6]

O favorecimento do transporte da contaminação do solo para a água subterrânea, uma vez estando dentro da área que será delimitada pela parede diafragma é uma situação favorável, uma vez que o tratamento da água subterrânea neste processo é mais simples e menos oneroso que o solo. Porém, essa situação favorece a extensão da pluma de contaminação, o que pode significar a extrapolação dos limites da área, podendo ser necessário a realização de intervenções externas (situação que em que o uso da parede diafragma não solucionaria a situação da contaminação como um todo). Como a

contaminação será removida após a execução da parede diafragma, a atenuação natural também não influenciará o processo, exceto no caso de remanescerem concentrações que não signifiquem risco à ocupação em áreas externas à parede, concentrações essas que podem ser reduzidas na presença de um ambiente que favoreça a atenuação natural.[6]

## **7 SEGREGAÇÃO DE SOLO E DESTINAÇÃO**

A remoção e redistribuição de solos é uma das práticas mais tradicionais e consagradas dentre aquelas empregadas na remediação de locais contaminados. Esta prática deve ser realizada com cautela, pois, pode propiciar a intensificação de algumas vias de exposição ao risco tais como a inalação de vapores e materiais particulados contaminados e a transferência de passivo de um compartimento ambiental a outro, por exemplo durante a escavação, armazenamento, transporte e redistribuição dos solos contaminados. Assim, a remoção do solo contaminado deverá ser feita com acompanhamento técnico, de forma a evitar uma remobilização dos contaminantes. [8]

Preliminarmente, deve ser segregado todo o solo alterado que foi detectado e delimitado nas investigações ambientais e que será removido. Nesse solo deve-se realizar coleta de amostras representativas para sua classificação como resíduo conforme NBR 10.004 [9] apenas para parâmetros orgânicos. As cavas desses solos removidos deverão ser amostradas para averiguação da total remoção do solo alterado. É possível a caracterização *in situ* antes da remoção do solo, porém esse procedimento deve ser realizado em todas as profundidades contempladas na remoção de forma a representar o todo.

O procedimento inicial de caracterização do solo para sua destinação, já pode ser considerado uma das etapas de remediação, porém, a maior intervenção (que pode ser considerada como remediação), se dará concomitantemente com as obras do futuro empreendimento, que poderão iniciar-se após o processo preliminar descrito anteriormente.

Apesar de serem definidas as concentrações limites baseadas em risco, para a execução da remoção do solo contaminado recomenda-se contemplar os seguintes aspectos:

- Utilização de equipamentos de proteção individual para os trabalhadores, para evitar riscos de inalação, ingestão ou absorção dérmica de poluentes (luvas,

máscaras de proteção, roupas protetoras, capacete, botas e óculos de proteção, visando evitar qualquer contato possível);

- Utilização de equipamentos adequados para a remoção (escavação), armazenamento e transporte do material removido evitando a emissão de contaminantes e a exposição da população vizinha a riscos, durante as operações.

Para a caracterização como resíduo de solo onde não se detectou contaminação nas investigações (mas pode possuir alteração devido ao derramamento de hidrocarbonetos), as amostras deverão ser coletadas com *liner*, a fim de se diminuir a perda por volatilização. Dessa maneira, as amostras são coletadas antes da remoção do solo do local. Poderá ser adotado a análise laboratorial de massa bruta nas amostras com *rush* de 48 horas. Caso os resultados apresentem concentrações inferiores aos valores de intervenção residencial, será considerado que o solo removido poderá ser destinado como resíduo Classe II-A, não sendo necessário os ensaios de solubilização e lixiviação.

Em relação ao solo contido na área de contaminação da água subterrânea que será removida, o monitoramento se dá na forma de caracterização da massa bruta dos solos removidos, e se necessário, a caracterização como resíduo do solo a ser destinado (caso a massa bruta supere os níveis de intervenção residencial). Nos ensaios de massa bruta, serão avaliados os compostos que geraram sua alteração, com exceção dos solos abrangidos pela contaminação da água subterrânea, onde serão avaliados os compostos BTEX, PAH e TPH. Nos ensaios de caracterização como resíduo serão avaliados todos compostos orgânicos necessários. Uma forma de auxiliar a separação do material para obter amostras significativas é a utilização de um medidor portátil de compostos voláteis.

A destinação do solo deve ser realizada de acordo com a caracterização preconizada na NBR 10.104 [9].

Outra possibilidade é aproveitar a escavação e aplicar um oxidante como um persulfato de sódio ativado, ou permanganato de potássio ativado ou percarbonato de sódio, ou até mesmo peróxido de hidrogênio, para promover a dessorção da contaminação e também a quebra das moléculas do contaminante (oxidação química). Estas atividades podem reduzir os gastos com destinação final, especialmente se o resíduo for classificado como perigoso (Classe I).

## 8 TRATAMENTO DE ÁGUA

No método construtivo de solos através de execução de parede diafragma ocorre o impedimento do rebaixamento do aquífero no entorno e, conseqüentemente, a importação de água deste. A água a ser bombeada durante a implantação dos solos se circunscreve basicamente ao volume do solo úmido escavado multiplicado pela porosidade. Essa água removida será tratada e monitorada em sua qualidade de descarte, atendendo a legislação em vigor. O Sistema de tratamento da água subterrânea terá ação sobre fase livre e fase dissolvida em áreas impactadas por derramamentos ou vazamentos de produtos químicos e/ou produtos derivados de petróleo.

O sistema utilizado consiste no mesmo tratamento que é realizado num sistema de bombeamento e tratamento (multifásico), porém, nesse caso a água subterrânea está de forma semelhante à situação de um lago (pois haverá inicialmente a remoção do solo das áreas impactadas). Devido a diferença de densidade do contaminante em relação a água, deve ser utilizado um bombeamento do tipo superficial (*skimmer*).

Para o tratamento da água subterrânea bombeada, adota-se uma estação de tratamento “*in loco*” para atender o padrão de descarte na rede pública. Na instalação do sistema de tratamento, os procedimentos que devem ser realizados são:

- Encaminhamento da água bombeada para a Estação de Tratamento;
- Esquema de tratamento (Figura 2);
- Água de descarte é encaminhada à rede pública;
- Lodo contaminado remanescente – é entamborado e destinado para aterro.

Os efluentes bombeados devem passar inicialmente por um gradeamento seguido de uma sedimentação. O sobrenadante é bombeado para o filtro de areia, seguido de filtração por carvão ativado e o lodo resultante da sedimentação é encaminhado por gravidade, continuamente, para o leito de secagem.

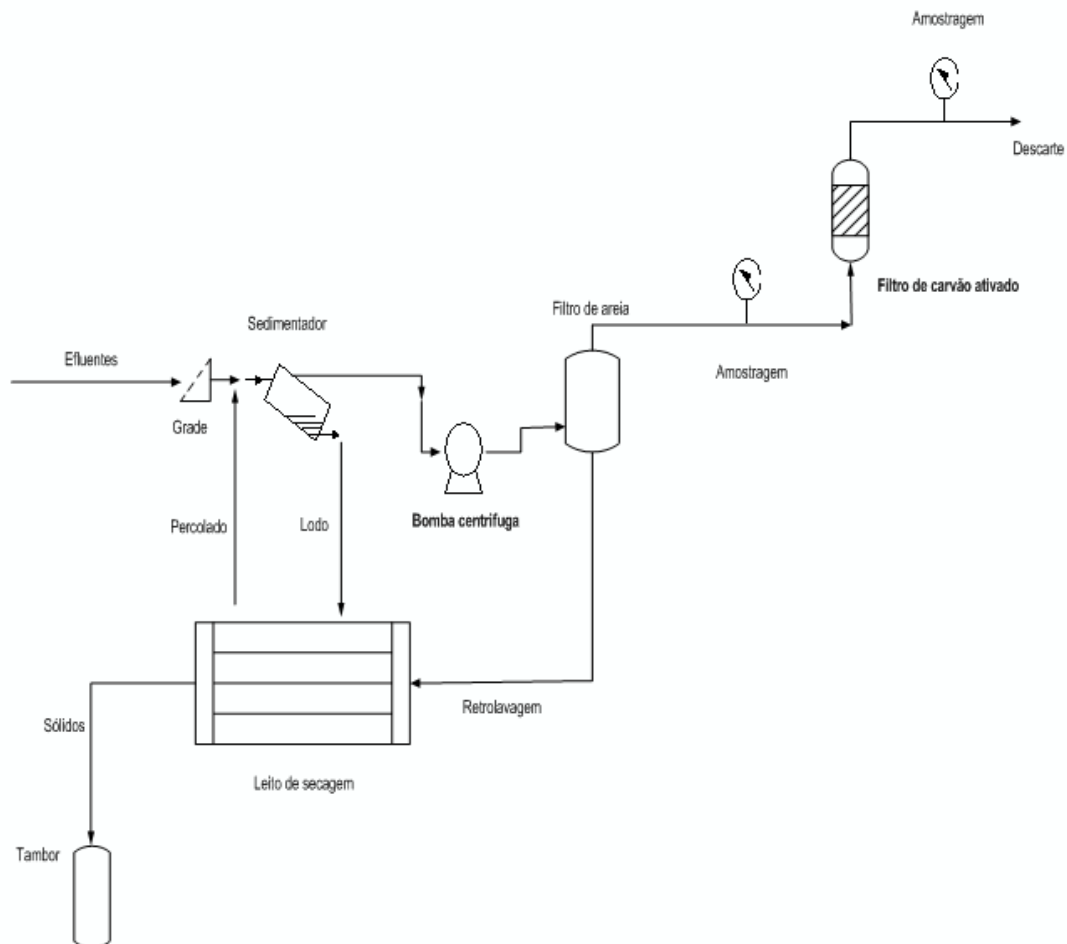
A retrolavagem do filtro de areia é feita quando ocorrer a colmatação do filtro de areia através da indicação da leitura da pressão do manômetro acoplado à saída da bomba. Esses efluentes são encaminhados para um dos compartimentos específico do leito de secagem, através do qual o percolado retorna ao sistema de tratamento, para que possa passar pelo filtro de carvão ativado.

São feitas amostragens periodicamente dos efluentes antes e depois do filtro de carvão para que sendo detectada a sua saturação, efetue-se a troca.

O lodo desidratado no leito de secagem, quando seco, é raspado com auxílio de um rastelo manual e acondicionado em tambores para disposição final como resíduo sólido contaminado, assim como o carvão saturado do filtro de carvão ativado.

O processo de bombeamento deve ser realizado de forma acelerada (fazendo com que a contaminação fique retida nas primeiras camadas de solo; a outra parte é removida junto com a água no bombeamento), com posterior segregação do solo da superfície de interface solo-água para classificação e destino ou tratamento.

Para a operacionalização desse processo, inicialmente deve ser realizado um bombeamento piloto, para analisar as concentrações remanescentes antes de despejar na rede pública de esgotos, a fim de verificar o atendimento a legislação vigente.



**Figura 2 - Fluxograma da estação de Tratamento de água**

Fonte: ConAm Consultoria Ambiental. [3]

Não há re-injeção da água bombeada, uma vez que o sistema dimensionado trata concentrações superiores as diagnosticadas nas investigações de passivo ambiental.



A necessidade do tratamento somente se enquadra para a área nas quais foi detectada a contaminação, ou em áreas de influencia desta.

Após o bombeamento do aquífero confinado, o solo mais superficial deverá ser segregado (cerca de até 1 metro da área saturada abrangida pela pluma de contaminação na água subterrânea). Para melhor segregação do material pode ser utilizado um medidor de voláteis portátil. A segregação serve para que o solo seja caracterizado como resíduo, de acordo com a NBR 10.004 (orgânicos) ou tratado. Após a certificação de sua classificação adequada, o mesmo poderá ser destinado.

## 9 AVALIAÇÃO DE CUSTOS ENVOLVIDOS

Os custos para realizar esse tipo de intervenção, que une a execução de uma obra civil juntamente com a atividade de remediação, podem ser comparados com outros processos de remediação cuja tecnologia é compatível. Nesta análise não foi considerado o custo da execução da parede diafragma, visto que, independentemente da existência de contaminação, seria construída para erguer o futuro empreendimento.

Os métodos que são utilizados comparativamente são:

- (a) Bombeamento e tratamento *in situ* da água subterrânea (*pump and treat*), juntamente com destinação à aterro do solo alterado;
- (b) Bombeamento e tratamento *in situ* da água subterrânea (*pump and treat*), juntamente com tratamento oxidativo (persulfato de sódio ativado) do solo alterado (posterior disposição em aterro);
- (c) Injeção de oxidante para tratamento da água subterrânea, juntamente com tratamento oxidativo (persulfato de sódio ativado) do solo alterado (posterior disposição em aterro);
- (d) Injeção de oxidante (persulfato de sódio) para tratamento da água subterrânea, juntamente com destinação à aterro do solo alterado;
- (e) O método apresentado neste trabalho, considerando a escavação (após a execução da parede diafragma) com segregação e destinação do solo e bombeamento e tratamento da água do interior a parede diafragma correspondente a área com alteração;
- (f) Igual ao item (e) porém conjuga tratamentos oxidativos (persulfato de sódio) do solo alterado a ser destinado à aterro.

Esses métodos serão considerados, para efeito de avaliação de custos. A Tabela 5 apresenta a simulação de custos para os métodos avaliados.

A intenção de se fazer um tratamento oxidativo previamente a disposição final em aterro ocorre para reduzir o custo de disposição final (a oxidação pode classificar o resíduo como não perigoso, após a remoção dos contaminantes).

Para estimativa dos custos foi considerada uma área que apresenta contaminação em 100m<sup>2</sup> num perfil de 2,5 metros de profundidade (2,0 metros de solo sobre o nível d'água e 0,5 metro após remoção da água por bombeamento) com porosidade de 50% e densidade 1,5 kg/m<sup>3</sup> (considerou 30% do solo removido como resíduo perigoso e aplicando uma oxidação nestes 30% torna-o não inerte; 60% do solo como não inerte e com uma oxidação química metade do volume torna-se inerte; e 10% de solo inerte). O *pump and treat* convencional seria operado por um ano. Os custos relacionados foi obtido através de pesquisa de mercado. As atividades de remoção e destinação de solo incluem maquinário e transporte no custo relacionado. Os custos de consultoria e fornecimento da tecnologia não estão inclusos na simulação (envolve custo de aplicação e custo do oxidante a base de Persulfato de Sódio), também não estão inclusas as análises de caracterização do solo como resíduo. A quantidade de oxidante considerado para tratar o solo foi de 20 gramas por quilo de solo. O solo classificado como classe I (perigoso) terá o tratamento de dessorção térmica no próprio aterro.

**Tabela 5 – Custos comparativos em Reais (R\$) de medidas de remediação**

Medida adotada	Custos relacionados			Prazo estimado	Custo Total
	Tratamento água	Tratamento solo	Remoção e destinação de solo**		
a	180.000,00*	-	45.125,00	1,4 ano	225.125,00
b	180.000,00*	56.000,00	20.625,00	1,2 ano	256.625,00
c	25.000,00	56.000,00	20.625,00	8 meses	101.625,00
d	25.000,00	-	45.125,00	6 meses	70.125,00
e	30.000,00	-	45.125,00	2,5 meses	75.125,00
f	30.000,00	56.000,00	20.625,00	4 meses	106.625,00

\*sujeito ao não atendimento dos padrões de lançamento no momento da escavação (custo adicional de R\$ 30.000,00)

\*\* Inclui CADRI se necessário

## 10 CONCLUSÕES

A metodologia de conciliar as atividades de obras civis com procedimentos de remediação pode significar bons resultados, tanto na eficiência de remoção da

contaminação quanto no prazo de execução. Em relação aos custos, desconsiderando o custo da parede diafragma, torna-se uma excelente alternativa tendo em vista que toda a contaminação do local será removida em pequeno espaço de tempo. Devido ao custo do oxidante, o tratamento do solo on site ainda não é vantajoso, sendo mais interessante o tratamento off site (dessorção térmica) aplicado pelo aterro.

A opção pelo uso de paredes diafragmas, apesar de ser significativamente mais cara que outros métodos de escoramento, apresenta como vantagem exatamente o fato de provocar o menor aporte possível de água externa à área escavada, evitando, assim, o rebaixamento do aquífero no entorno, minimizando sobremaneira danos às estruturas na vizinhança, além de evitar a necessidade de bombeamentos contínuos do aquífero. O uso desse método construtivo também favorece o gerenciamento da contaminação da área, onde praticamente confina-se a água existente no interior das paredes podendo-se remover totalmente a contaminação do site, além de se segregar todo o solo alterado pelo derramamento de combustíveis.

Havendo contaminações externas à parede diafragma remanescentes deve-se realizar a avaliação de risco para os receptores possíveis da contaminação, a fim de se verificar a necessidade de intervenção externa. É também necessário o monitoramento periódico para avaliar o avanço e a estabilidade da pluma de contaminação.

Para contaminantes mais densos que a água, que tendem a se aprofundar no aquífero, o uso da parede diafragma pode não ser eficiente podendo a contaminação ultrapassar os limites da área, prejudicando bens a proteger.

A água subterrânea é um bem de uso estratégico, podendo ser a solução de grandes cidades em relação à escassez de água. Desse modo devem ser preferidas medidas preventivas de contaminação, como áreas de proteção impermeáveis, tanques com camadas duplas e sistemas inteligentes contra vazamentos. A metodologia apresentada neste trabalho trata-se de uma medida corretiva com a finalidade de revitalizar e recuperar áreas contaminadas, garantindo a ocupação segura do solo urbano diminuindo os riscos à saúde pública.

A área dos postos de combustível é um meio já bem explorado em relação à contaminação e passivos ambientais, porém esse trabalho procurou dar um enfoque diferente da situação. O Procedimento proposto enquadra-se na nova metodologia de gerenciamento de áreas contaminadas elaborado pela Cetesb [10].

## **11 BIBLIOGRAFIA**

- [1] CONAMA. Resolução nº 273, de 29 de novembro de 2000.
- [2] CARDOSO, F. F. Apostila Sistemas de Contenção. Material utilizado no disciplina PCC-2435:Tecnologia da Construção de Edifícios I. Aplicado no curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica da USP. Fevereiro/2002. São Paulo.
- [3] Conam Consultoria Ambiental. Relatório de Investigação Detalhada e Análise de Risco Toxicológico à Saúde Humana. Fevereiro/2008. São Paulo.
- [4] SILVA, S. P. Degradação Anaeróbia de BTEX em reatores alimentados com água contaminada por gasolina. Dissertação de Mestrado apresentada a UFPE. 2008. Recife.
- [5] CHRISTENSEN, J. S.; ELTON, J. Soil Groundwater pollution from BTEX. Groundwater pollution primer – CE 4594: Soil and groundwater pollution. Civil engineering Dept – virginia Tech. 1996. Disponível em: <<http://www.cee.vt.edu/ewr/environmental/teach/gwprimer/btex/btex.html>>. Acesso em 01/03/2009.
- [6] CASTRO, G. B. F. Estudo do fluxo e transporte de gasolina pura e misturada com etanol em meios porosos não saturados. Dissertação de Mestrado apresentada à PUC-Rio. 2007. Rio de Janeiro.
- [7] WILLIAMS, P. T.; BARTIE, K. D.; ANDREWS, G. E.. The relation between polycyclic aromatic compounds in diesel fuels and exhaust particulates. Butterworth & Co. FUEL, 1986, Vol. 65, August.
- [8] CETESB – 1999 – Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas – CETESB - GTZ – 2ª Ed. – São Paulo, Brasil.
- [9] ABNT 2004. NBR 10.004 – Classificação de Resíduos Sólidos. Segunda Edição. 30/11/2004
- [10] CETESB. 2007. Procedimento para gerenciamento de áreas contaminadas. Decisão da Diretoria 103-2007-C-E, de 22 de junho de 2007. CETESB/SMA. Publicada no diário oficial do Estado de São Paulo em 27/06/2007, Poder Executivo – Seção I – p. 34-39.