

EFICIÊNCIA NO USO DO MÉTODO MPE - MULTI PHASE EXTRACTION PARA REMEDIAÇÃO DE SOLO E ÁGUA CONTAMINADOS COM HIDROCARBONETOS EM UM POSTO DE COMBUSTÍVEIS NA REGIÃO DE ASSIS.

RESUMO: A contaminação do solo e dos recursos hídricos subterrâneos, ocasionado por tanques de armazenamento de postos revendedores de combustíveis tem gerado preocupações expressivas nos últimos anos. Estes postos são as principais fontes urbanas de contaminação pelas substâncias aromáticas conhecidas como compostos BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos). Tal contaminação ocorre devido a vazamentos no sistema de armazenamento de combustíveis assim como pela má operação e manutenção dos equipamentos. Para descontaminação de uma área podem ser utilizadas algumas técnicas de remediação, dentre as quais o Sistema de Extração Multifásica, conhecida como MPE (MULTI-PHASE EXTRACTION) tem sido apontada como alternativa eficiente, segura e pouco onerosa, para remoção de compostos tóxicos, por isso enquadra-se como uma das mais utilizadas em postos revendedores de combustíveis. O presente artigo tem como objetivo mostrar a eficiência da utilização da MPE na remediação de contaminação ocorrida em um posto revendedor de combustíveis localizado na macro região de Assis - SP. Durante a realização da remediação constatou-se a redução da fase livre além da diminuição da contaminação na fase dissolvida da água subterrânea facilmente visualizada em tabelas presentes neste artigo confirmando assim a eficiência do sistema.

Palavras-chave: Contaminação; Remediação; MPE; Fase Livre.

ABSTRACT: Contamination of soil and groundwater resources, caused by fuel filling stations storage tanks has generated significant concerns in recent years. These posts are the major sources of contamination for the urban aromatic substances known as BTEX compounds (benzene, toluene, ethylbenzene and xylenes). Such contamination occurs due to leaks in the fuel storage system as well as by poor operation and maintenance of equipment. For decontamination of an area can be used some remediation techniques,

among which the Multiphase Extraction System, known as MPE (MULTI-PHASE EXTRACTION) has been identified as an efficient alternative, safe and cheap, for the removal of toxic compounds, by it is part of one of the most used in fuel filling stations. This article aims to show the efficiency of the use of MPE in contamination remediation occurred in a fuel retail service station located in the macro Assis - SP region. While performing the remediation found the reduction of free phase in addition to decreasing contamination in the dissolved phase groundwater easily displayed on tables present in this article thus confirming the system's efficiency.

Keywords: Contamination; Remediation; MPE; Free Phase.

1 - Introdução:

A contaminação de solos e águas subterrâneas por vazamentos de combustíveis em postos revendedores tem chamado a atenção dos órgãos ambientais devido ao grande número de empreendimentos e ao diagnóstico crescente de áreas impactadas por compostos tóxicos. Esses postos, atualmente, são as principais fontes de contaminação de solo e águas subterrâneas pelas substâncias aromáticas benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos também conhecidos como compostos BTEX (GREGORCZYK; PICCIONI, 2011).

Segundo a CETESB, solo é um meio complexo e heterogêneo, produto de alteração do remanejamento e da organização do material original (rocha, sedimento ou outro solo), sob a ação da vida, da atmosfera e das trocas de energia que aí se manifestam, e constituído por quantidades variáveis de minerais, matéria orgânica, água da zona não saturada e saturada, ar e organismos vivos, incluindo plantas, bactérias, fungos, protozoários, invertebrados e outros animais.

No impacto ambiental gerado por essas substâncias, uma das preocupações é a contaminação de aquíferos que sejam usados como fonte de abastecimento de água para consumo humano. Segundo o Decreto Estadual nº 32.955/1991, que regulamenta a Lei, n.º: 6.132/1991, aquífero ou depósito natural de águas subterrâneas é todo solo, rocha ou sedimentos permeáveis que fornecem água subterrânea, natural ou artificialmente captada.

Conforme observamos na figura 1a, após ocorrer um vazamento, ao entrar em contato com o solo, o contaminante infiltra no ambiente e essa infiltração pode ser facilitada conforme a permeabilidade do meio. A permeabilidade é a capacidade que o solo possui de permitir o escoamento de água entre os seus espaços vazios e pode ser medida pelo coeficiente de permeabilidade (GREGORCZYK; PICCIONI, 2011).

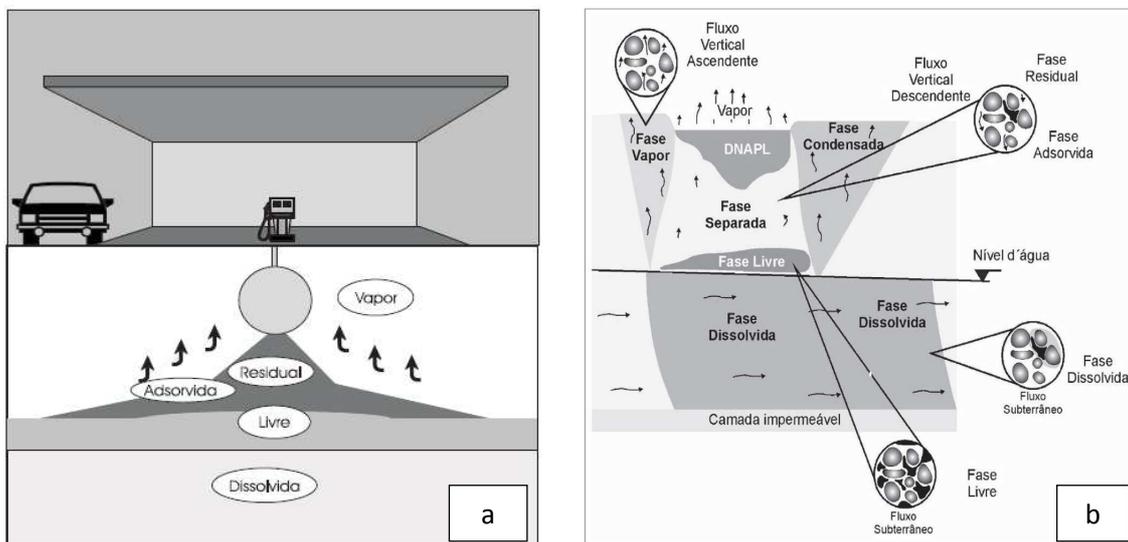


Figura 1: a) Panorama geral das fases dos hidrocarbonetos na zona saturada e não saturada do subsolo (In: FERREIRA et al, 2004) e b) Fases de hidrocarbonetos no subsolo (In: LOLLO; SILVA, 2012).

Já na figura 1b, podemos observar que a fase livre constitui um véu sobre o topo do lençol freático. A fase adsorvida, também denominada de fase residual, constitui no halo de dispersão entre a fonte e o nível freático, funciona como uma fonte permanente de contaminação. A fase dissolvida representa a dissolução de hidrocarbonetos mais solúveis e se localiza abaixo no nível freático livre. A fase vaporizada constitui uma fase gasosa nos vazios do solo ou rocha. A fase condensada aparece mais em áreas urbanas onde a compactação do solo favorece a acumulação de produtos condensados sob os pavimentos. Alguns compostos apresentam certa solubilidade em água, com alto potencial de contaminação dos mananciais subterrâneos sendo consideradas substâncias perigosas por serem depressores do sistema nervoso central e por apresentarem risco carcinogênico (LOLLO; SILVA, 2012).

Os hidrocarbonetos em fase livre (figura 1b) é a porção não miscível em água (LNAPL - Light Non Aqueous Phase Liquid) sobre o topo do aquífero livre e que pode ser mais espessa em casos onde o sistema freático é pouco dinâmico e pouco permeável, como também de acordo com o volume de produto derramado (GREGORCZYK; PICCIONI, 2011).



Figura 2: Fase livre existente em água subterrânea após contaminação por vazamento de combustível.

A distribuição dos contaminantes para a água é influenciada pela polaridade, sendo que os compostos do grupo BTEX são apolares e, conseqüentemente hidrofóbicos. A densidade relativa é a relação entre a densidade do composto e a densidade da água e tem influência sobre a flotação dos compostos químicos (GREGORCZYK; PICCIONI, 2011). A tabela 1 mostra as características do BTEX.

Composto	Densidade	Solubilidade em água (mg/L)	Pressão de Vapor (mmHg)	Constante da Lei de Henry (atm·m ³ /mol)	Polaridade
Benzeno	0,876	1780	76	5,43 x 10 ⁻³	Apolar
Etilbenzeno	0,867	152	7	7,90 x 10 ⁻³	Apolar
Tolueno	0,867	515	22	6,61 x 10 ⁻³	Apolar
m-Xileno	0,864	200	9	6,91 x 10 ⁻³	Apolar
o-Xileno	0,880	170	7	4,94 x 10 ⁻³	Apolar
p-Xileno	0,861	198	9	7,01 x 10 ⁻³	Apolar

Tabela 1: Propriedades físicas e químicas dos compostos BETX. (In: GREGORCZYK; PICCIONI, 2011).

As dificuldades nas atividades voltadas para a proteção ambiental consistem na avaliação da extensão, dinâmica e concentração das contaminações provocadas por vazamentos. Isso se deve ao fato destes apresentarem características orgânicas, que reagem com a matéria existente no solo. (AMARAL, et al.)

Com o objetivo de proteger tanto o solo quanto a água subterrânea, os órgãos ambientais estão exigindo a avaliação do passivo ambiental de postos de combustíveis, na qual devem ser monitorados e quantificados os hidrocarbonetos aromáticos no solo, incluindo os compostos BTEX. Desta maneira, quando estas quantificações apontam

valores acima dos padrões aceitos pelos órgãos ambientais competentes, torna-se necessário a intervenção e a utilização de técnicas de remediação para a correção destes valores, fazendo com que se enquadrem dentro de limites aceitáveis (GREGORCZYK; PICCIONI, 2011).

Uma das técnicas de bombeamento e tratamento consagradas é denominada de MPE - Extração Multifásica que é um método de extração de fase livre de óleo na fase inicial do processo de remediação, e posteriormente, de fase dissolvida de óleo na água e de fase vapor presente no solo. (AMARAL, et al.)

Esse sistema é uma tecnologia de remediação in situ, que combina as técnicas de bio-ventilação e de remoção de massa a vácuo, possibilitando a extração da fase livre, fase vapor, fase dissolvida, adsorvida na matriz do solo e estimulando o processo de biodegradação natural na zona insaturada. As fases, líquida e vapor, extraídas, são tratadas pela separação do contaminante da fase aquosa de forma que possa ocorrer a disposição ou re-injeção no solo, quando permitido pela legislação ambiental (GREGORCZYK; PICCIONI, 2011).

Este trabalho tem como objetivo verificar a eficiência da remediação por sistema de extração multifásica, mediante o estudo das características do meio físico referente ao caso; verificação das características da contaminação; levantamento da legislação ambiental vigente, e a verificação da eficiência da remediação por sistema MPE, levando em consideração as características locais; da contaminação e; a legislação aplicável.

2 - Método de remediação:

A metodologia utilizada segue a adotada pela CETESB que avalia o impacto ambiental pela contaminação de combustíveis em solo e água ocasionados em Postos de Combustíveis (instituído pelo Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas e através da Decisão de Diretoria n.º: 263/2009/P que aprovou o Roteiro para Execução de Investigação Detalhada e Elaboração de Plano de Intervenção em Postos e Sistemas Retalhistas de Combustíveis).

Essa metodologia é utilizada atualmente como diretriz no gerenciamento de áreas contaminadas. Com o intuito de diminuir os riscos ao meio ambiente e à população e, em função do nível de informações referente à área estudada, elas podem ser

classificadas como: potencialmente contaminada, área suspeita de contaminação e área contaminada (GREGORCZYK; PICCIONI, 2011).

De acordo com a CETESB as áreas potencialmente contaminadas (AP) são áreas onde estão sendo ou foram desenvolvidas atividades potencialmente contaminadoras. Já as áreas suspeitas de contaminação (AS) são aquelas que foram observadas falhas no projeto, problemas na forma de construção, manutenção ou operação do empreendimento, indícios ou constatação de vazamentos durante a realização da etapa de avaliação preliminar, levando assim, a suspeitar de presença de contaminação no solo e nas águas subterrâneas.

Uma área contaminada (AC) pode ser definida como uma área onde há comprovadamente contaminação causada por quaisquer substâncias ou resíduos que possam causar danos à saúde humana e ao meio ambiente.

Após a identificação da área a ser analisada inicia-se a etapa de Avaliação Preliminar, que consiste na realização de um diagnóstico inicial, através do levantamento de informações sobre o local, informações coletadas nas inspeções realizadas na área e entrevistas com moradores e/ou proprietário (GREGORCZYK; PICCIONI, 2011).

Caso a área estudada seja classificada como área supostamente contaminada, os dados coletados serão a base para a etapa de investigação confirmatória, como a definição dos pontos de coletas de amostras e a profundidade de investigação (GREGORCZYK; PICCIONI, 2011).

A investigação confirmatória consiste na ratificação da existência de contaminação e verificação da necessidade de realização de uma investigação detalhada nas áreas suspeitas. Essa confirmação é baseada na comparação das análises de solo e água subterrânea com valores de intervenção em listas orientadoras. Caso seja confirmada a contaminação, a área é classificada como área contaminada e haverá a necessidade de iniciar o processo de recuperação da área.

Confirmada a contaminação, a CETESB definirá quais medidas serão adotadas para prevenir um avanço da contaminação e determinar qual a natureza da contaminação, assim realiza-se a investigação detalhada, que é a primeira etapa do processo de recuperação de uma área contaminada. Essa investigação avalia a característica do contaminante e do meio contaminado, definindo as dimensões das áreas afetadas, as características das áreas de contaminação, levando-se em conta a geologia e hidrologia

da região, a evolução da contaminação no tempo e espaço, as rotas de migração, entre outras.

Para uma melhor análise da contaminação da área, a CETESB determina que se deva realizar a avaliação de risco, que tem como base a investigação detalhada. Essa etapa é uma estimativa dos riscos ao ecossistema e à saúde humana segundo o qual a exposição a uma determinada substância, decorrente de uma área contaminada, possa acarretar, além de ter o conhecimento das propriedades físico-químicas e comportamento dos contaminantes. As etapas descritas estão mostradas na figura 3.

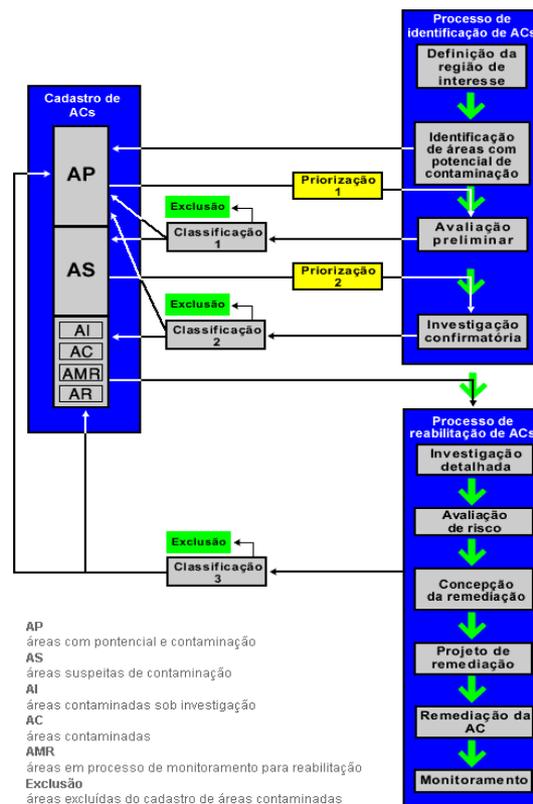


Figura 3: Etapas do gerenciamento de áreas contaminadas CETESB (2001).

A finalidade das investigações é oferecer subsídios para a concepção e detalhamento do projeto de remediação, tecnicamente adequado, legalmente cabível e economicamente viável, para cada situação de contaminação, visando prevenir danos presentes ou futuros ao meio ambiente, à saúde humana e à segurança pública (LOLLO; SILVA, 2012).

Uma das técnicas consagradas de bombeamento e tratamento é denominada de MPE-Extração Multifásica. A extração multifásica é um método desenvolvido para extração de fase livre de óleo na fase inicial do processo de remediação e, posteriormente, da fase dissolvida de óleo na água e da fase vapor presente no solo. A figura 4 mostra uma seção esquemática do sistema MPE (LOLLO; SILVA, 2012).

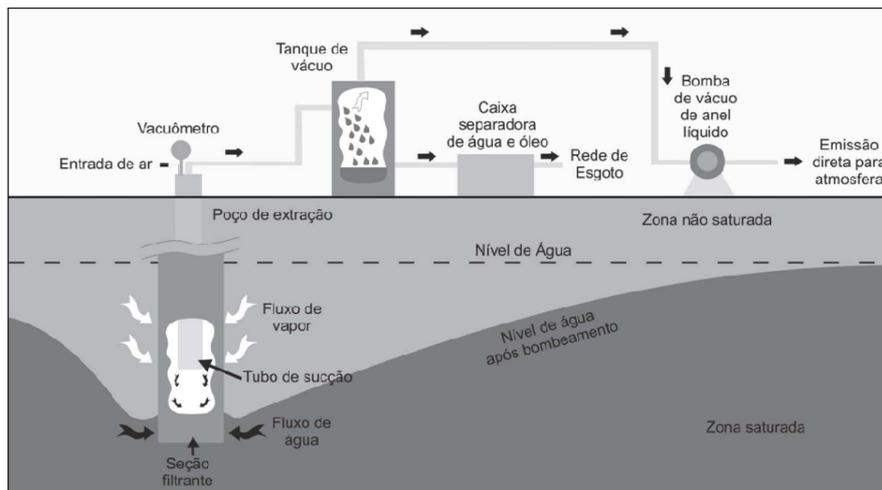


Figura 4: Seção esquemática de um Sistema MPE (In: LOLLO; SILVA, 2012).

A extração multifásica ocorre por meio da instalação de um sistema de ventilação à vácuo em poços de extração distribuídos na área de interesse, visando criar uma zona de influência do sistema em toda a extensão da contaminação (TECNOHIDRO, 2014).

O Sistema MPE combina as técnicas de bio-ventilação e remoção de massa a vácuo. Isto ocorre através da aplicação do vácuo nos poços de extração onde cria-se um gradiente de pressão dirigido para estes pontos, de onde são extraídas a fase livre, vapor e dissolvida do contaminante. O gradiente de pressão é diretamente proporcional ao vácuo aplicado, logo, a eficiência na extração das diferentes fases do contaminante será em função do sistema a ser implantado. A mistura bombeada deve ser direcionada para uma caixa separadora de água e óleo, com o combustível recuperado sendo armazenado em tambores e a água contaminada sendo destinada para tratamento em filtro de carvão ativado para posterior re-injeção. O vapor extraído é direcionado para um sistema de carvão ativado e lançado na atmosfera (TECNOHIDRO, 2014).

3 - Legislação:

Para a aprovação da localização, construção, instalação, modificação, ampliação e operação de qualquer tipo de Posto de Combustíveis é necessário que seu proprietário solicite junto ao órgão ambiental competente (que no estado de São Paulo é a CETESB) a Licença Prévia obrigatória para que o mesmo se adeque à Resolução CONAMA n.º: 273/2000.

Outra legislação especifica critérios e valores orientadores de qualidade do solo (Resolução CONAMA n.º: 420/2009) e outras dispõem diretrizes e procedimentos para a proteção de sua qualidade como é o caso da Lei Estadual n.º: 13.577/2009 e o Decreto Estadual n.º: 59.263/2013.

Os valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo são definidos pela Decisão e Diretoria n.º: 195/2005-E (CETESB, 2005).

As tabelas 2 e 3 apresentam um comparativo entre os valores orientadores para qualidade do solo e das águas subterrâneas, respectivamente, em relação aos principais compostos mencionados nas legislações descritas.

SUBSTÂNCIA	CONAMA 420/09	LISTA HOLANDESA	CETESB
BENZENO	0,15	1	0,15
TOLUENO	75	130	75
ETILBENZENO	95	50	95
XILENOS	70	25	70

Tabela 2: Comparativo de valores orientadores conforme as legislações para solos - mg/kg de peso seco. (In: GREGORCZYK; PICCIONI, 2011)

SUBSTÂNCIA	CONAMA 420/09	LISTA HOLANDESA	CETESB
BENZENO	5	30	5
TOLUENO	700	1.000	700
ETILBENZENO	300	150	300
XILENOS	500	70	500

Tabela 3: Comparativo de valores orientadores conforme as legislações para águas subterrâneas - µg/L. (In: GREGORCZYK; PICCIONI, 2011)

Com relação aos equipamentos para o SASC - Sistema de Armazenamento Subterrâneo de Combustíveis em postos revendedores utiliza-se como parâmetro o descrito na ABNT NBR 13.786/2005. A norma especifica, ainda, as técnicas para verificação e equipamentos para proteção de vazamentos no sistema.

Dentro das normas específicas utilizadas para a elaboração de uma remediação de contaminação, a CETESB disponibiliza também o seu Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas, divulgando assim, informações sobre a sistemática adotada para o gerenciamento integrado dessas áreas e articulando todos os atores envolvidos.

A CETESB disponibiliza também os Procedimentos para Ações Corretivas Baseadas em Risco (ACBR) aplicadas a áreas contaminadas com hidrocarbonetos derivados de petróleo e outros combustíveis líquidos (CETESB - 2006) e para Identificação de Passivos Ambientais em Estabelecimentos com SASC (CETESB - 2007).

Além disso, o Roteiro para Execução de Investigação Detalhada e Elaboração de Plano de Intervenção em Postos e Sistemas Retalhadas de Combustíveis foi aprovado pela Decisão de Diretoria n.º: 263/2009-P.

Finalmente, a fiscalização e monitoramento desses empreendimentos tem respaldo da Lei Federal n.º: 9.605/1998 que dispõe sanções penais e administrativas além de valores pecuniários para quem cause danos ao Meio Ambiente e à Saúde Humana.

4 - Estudo de caso:

Para a comprovação da eficiência da utilização do Sistema de Extração Multifásica realizamos pesquisa em um Processo da CETESB referente à remediação de um Posto de Combustíveis localizado na macro região de Assis.

O respectivo posto localiza-se em zona urbana e começou as suas atividades comerciais no local em 1987. Encontra-se em um terreno de 1.858,70m² possuindo área de atividade de 928,00m². Verificou-se também que no entorno direto do posto ocorre a existência de ocupação comercial e residencial.

O imóvel está situado no terço superior da encosta do relevo, com declive local abaixo de 1% e relevo regional caracterizado como suave ondulado. Trata-se de um solo com origem basáltica (formação Serra Geral) que encontra-se na unidade pedológica classificada como Nitossolo Vermelho Férrico, de textura argilosa a muito argilosa.

Segundo classificação do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006), Nitossolos compreendem solos constituídos por material mineral, com horizonte B nítido (reluzente, relacionado a cerosidade), com argila de atividade baixa, textura argilosa a muito argilosa, profundos e bem drenados.

Verificamos que a empresa consultora ambiental contratada realizou Estudo de Investigação Detalhada com apresentação de Relatório que apontou a existência de fase livre de contaminante, com espessura inferior a 5mm, detectada nos poços PM-03 e PM-05.

Os poços implantados no entorno dos poços PM-03 e PM-05 (figura 5) não acusaram detecções (PM-01, PM-02, PM-06 e PM-07) ou concentrações superiores aos Valores Orientadores e CMA's (PM-04).

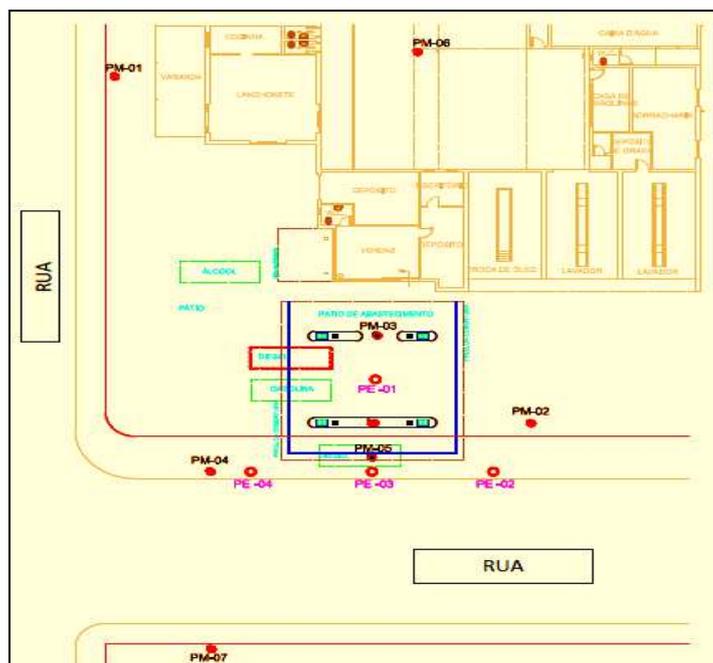


Figura 5: Layout do Posto em estudo com a demarcação dos locais de sondagem.

A detecção da fase livre de contaminante em dois poços de monitoramento impôs como prioridade a necessidade de estabelecimento do plano de Intervenção e da adoção de medidas de intervenção.

Na etapa de Investigação Confirmatória, iniciada em setembro de 2007, foram realizadas 40 sondagens de reconhecimento a trado mecânico para coleta de amostras de solo, com profundidades variáveis e 1 sondagem de reconhecimento para determinação da profundidade do lençol freático, até 15m de profundidade.

O Relatório Confirmatório não indicou existência de passivo ambiental, de acordo com os limites orientadores para solo (CETESB, 2005). Porém, em janeiro de 2009, o estudo de cava (realizado no local onde se encontravam tanques antigos que seriam substituídos) detectou contaminação do solo acima dos valores permitidos, associada ao parâmetro Benzeno, conforme demonstra a tabela 4.

Composto	TQ-01/P01 (µg/Kg)	TQ-02/P16 (µg/Kg)	Valor de Intervenção (µg/Kg)
Benzeno	< 3,999	829,987	150
Tolueno	< 2,012	446,821	75.000
Xilenos	< 2,597	22.407,950	70.000
Etilbenzeno	< 1,803	9.149,853	95.000

Tabela 4: Resumo dos resultados analíticos de amostra de solo do estudo de cava.

Portanto, a delimitação da área de contaminação foi feita com base nos poços onde se detectou fase livre de contaminante e nos poços em que não foram ultrapassados os VI's - Valores de Intervenção ou CMA's - Concentrações Máximas Aceitáveis.

As medidas de remediação preconizado no Plano de Intervenção consistiram da implantação e operação de SR - Sistema de Remediação, objetivando reduzir as concentrações das SQI's - Substâncias Químicas de Interesse presentes na área de contaminação detectada no local, até se atingirem as concentrações estabelecidas nas metas de remediação.

Foram implantados quatro Poços de Extração, sendo dois interiores aos limites da área de contaminação da fase livre (PE-01 e PE-03), previstos para operar as bombas de extração, e dois em pontos periféricos da pluma (PE-02 e PE-04).

O SR é integrado por equipamentos e instalações para bombeamento da água subterrânea em poços de extração (PE) implantados especificamente para esta finalidade. O sistema integra também a separação posterior do material sobrenadante, injeção de ar e filtragem de água e vapores. O mesmo entrou em operação efetiva em 17/02/2012. A figura 6 indica o Esquema do Sistema de Remediação MPE utilizado.

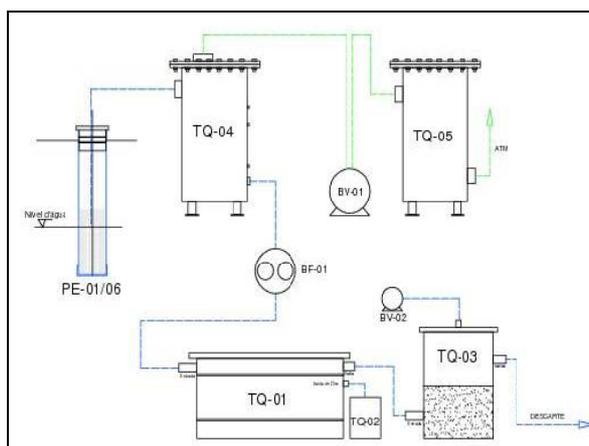


Figura 6 : Esquema do Sistema de Remediação MPE; TQ-01 - Separador água/óleo; TQ-02 - Reservatório de produto (SQI) recuperado; TQ-03 - Filtro adsorvente – água; TQ-04 - Tanque de vácuo; TQ-05 - Filtro adsorvente - vapor; BV-01 - Bomba de vácuo; BV-02 - Injeção de ar - stripping; BF-01 - Bomba de Fusão e PE-01/06 - Poço de Extração.

Na caixa separadora de água e óleo - SAO observou-se a existência de mais de 30 litros resíduos oleosos, retirados dos poços de extração, principalmente do PE-01. A partir daí, passou-se a observar a espessura da fase livre em cada campanha de monitoramento para verificar se houve evolução.

Atingidas as metas de remediação, demonstrado nos resultados analíticos da 3.a Campanha de Monitoramento, na qual em nenhum dos poços de monitoramento do site foram detectadas concentrações superiores aos Valores de Intervenção ou Concentrações Máximas Aceitáveis, visando margem de segurança, o sistema de remediação foi mantido em funcionamento até fevereiro de 2013, quando foi desligado.

	Poços de Monitoramento	PM - 03	PM - 05
Espessuras da Fase Livre	Delimitação da Área de Contaminação (30/11/2010)	4 mm	5 mm
	1.ª Campanha de Monit. da Remediação (17/05/2012)	300 mm	5 mm
	Medição (20/07/2012)	200 mm	0 mm
	2.ª Campanha de Monit. da Remediação (15/08/2012)	5 mm	0 mm
	Medição (28/09/2012)	3 mm	0 mm
	3.ª Campanha de Monit. da Remediação (19/11/2012)	0 mm	0 mm
	1.ª Campanha de Monit. Semest. da Remed. (14/07/13)	0 mm	0 mm

Tabela 05 – Variação da espessura da Fase Livre no PM-03 e PM-05 durante todo o processo.

Conforme se constata na Tabela 05, a espessura da Fase Livre no poço PM-03 apresentou aumento significativo após o início da operação do Sistema de Remediação. Ao mesmo tempo, constatou-se que a operação do SR, associada à estiagem, provocou redução do nível da água subterrânea no local, que já se sabia limitada.

As evidências sugerem que na época das amostragens e medições, realizadas em novembro de 2010, haveria certa quantidade de hidrocarbonetos trapeada no solo, a qual foi liberada com a redução do nível d'água, apresentando-se agora na forma de fase livre no PM-03. Nova medição realizada em julho de 2012, quando houve aumento significativo do nível freático, a fase livre no PM-03 já apresentava declínio, que se acelerou na leitura realizada em agosto, mantendo-se em redução em setembro, quando o nível freático atingiu a maior profundidade e desapareceu na medição realizada em novembro, quando se coletou amostra de água no poço PM-03 e o nível freático já mostrava pequena recuperação. Continuou inexistente na coleta realizada em 14/05/2013.

Por outro lado, o poço PM-05, em virtude da proximidade ao PE-03, em operação, também sofrera drástica redução do nível d'água em fins de maio de 2012, mantendo-se a espessura residual da fase livre. O bombeamento teria provocado formação de um cone de depressão no entorno do PE-03, acarretando a retirada por sucção dos hidrocarbonetos em fase livre liberados do trapeamento, função primordial do Sistema de Remediação adotado.

Na medição realizada em meados de setembro de 2012, não mais se detectou fase livre residual no PM-05, o mesmo ocorrendo nas leituras realizadas em agosto, setembro e novembro de 2012, em que a redução do nível freático atingiu seu máximo. Manteve-se inexistente na medição seguinte.

Com relação à fase dissolvida, foram realizadas análises da água pelo Método de extração por headspace e micro extração em fase sólida para determinação de BTEX. Seus resultados podem ser conferidos na Tabela 6.

Apesar de alguns poços terem apresentado detecções de contaminação de por hidrocarbonetos, os mesmos foram inferiores aos VI's - Valores de Intervenção e às CMA's - Concentrações Máximas Aceitáveis.

Composto	POÇOS DE MONITORAMENTO							V.I. 2005 CETESB	IgA (2014)		IVAAA sub		IVafa sub	
	PM-03			PM-05					C	R	C	R	C	R
	3.ª Camp.	1.ª Camp.S	2.ª Camp.S	2.ª Camp	3.ª Camp	1.ª Camp.S	2.ª Camp.S							
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Benzeno	0,0049	<LQ	<LQ	0,002	<LQ	<LQ	<LQ	0,005	0,005	0,005	149	103	0,892	0,272
Tolueno	<LQ	<LQ	<LQ	0,002	<LQ	<LQ	0,003	0,7	0,17	0,17	ND	ND	ND	443
Xilenos	0,0657	<LQ	<LQ	0,022	0,0133	<LQ	0,059	0,5	0,3	0,3	ND	ND	22,2	8,16
Etilbenzeno	<LQ	<LQ	<LQ	0,001	<LQ	<LQ	0,009	0,3	0,2	0,2			2,73	0,841

Tabela 6 – Monitoramento da Remediação – Amostragem de Água; Amostragens: 2.^a Campanha:15/08/2012; 3.^a Campanha:19/11/2012; 1.^a Campanha S.: 14/05/2013; 2.^a Campanha S.: 19/11/2013; **VI** – Valor de Intervenção em área comercial; **IgA** – Ingestão de água; **IVAAA sub**– Inalação de vapores em ambientes abertos a partir da água subterrânea; **IVafa sub** – Inalação de vapores em ambientes fechados a partir da água subterrânea.

Após o desligamento do Sistema de Remediação não mais foi detectada contaminação com a presença de fase livre ou dissolvida em nenhum dos poços de monitoramento. Apenas no PM-05 ocorreram detecções de pequena significância de Etilbenzeno, Tolueno e Xilenos, muito inferiores aos Valores Orientadores e às CMA's.

5 - Conclusão:

Conforme analisado no processo, a empresa contratada para realizar a remediação encontrou algumas dificuldades para a instalação e funcionamento do sistema, dentre as quais destacamos: a realização de muitos testes hidráulicos; dificuldade de aplicação devido a flutuações do nível da água subterrânea; tratamento de grande volume de água subterrânea extraída; utilização de equipamentos especiais com capacidade sofisticada de controle; monitoramento complexo e controle durante a operação; altos custos de instalação e operação; longos períodos de ajuste do equipamento quando comparado com sistemas convencionais de bombeamento; limitações de profundidade.

No caso específico percebeu-se que contaminação além de diminuir também não se movimentou em nenhuma direção, nem mesmo na direção do fluxo das águas subterrâneas, implicando que o vácuo aplicado foi suficiente para direcionar o fluxo das

águas para os poços de extração. Desta forma o gradiente hidráulico e a velocidade do fluxo das águas subterrâneas não influenciaram na eficiência da remediação.

Notou-se que alguns fatores exerceram grande influência para o sucesso da remediação, tais como: aumento das taxas de recuperação de águas subterrâneas quando comparado com outros métodos de bombeamento praticados em configurações equivalentes; recuperação da camada superficial do produto (fase livre); remediação de voláteis, contaminantes de fase residuais localizados acima e abaixo do lençol freático; correção simultânea do solo e das águas subterrâneas; tempo de remediação reduzido quando comparado aos sistemas convencionais; pode ser utilizado em locais com baixa permeabilidade e condutividade hidráulica com remoção eficaz onde a única outra opção viável de reparação seria escavação; potencial bio-degradação aeróbica de BTEX dissolvidos; eficaz para remediação simultânea de fase dissolvida, vapor, residual e não aquosos; cria potencialmente grande raio de influência e aumento da zona de captura; aumenta a recuperação de fluido total, minimiza o levantamento e manchas de produto gratuito e maximiza a transmissividade do aquífero na cabeça do poço; reduz o número de poços necessários para recuperação; eficaz para a remediação da zona capilar; reduz a duração da reparação dos danos em comparação com abordagens convencionais de bombeamento.

É claro que todos esses fatores dependem e muito da magnitude da contaminação e a boa operação do empreendimento. Como era de se esperar quanto maior a contaminação maior o tempo despendido na remediação.

Apesar disso, o sistema MPE mostrou-se eficiente na descontaminação da área estudada, pois foi capaz de remover se não toda, boa parte da contaminação.

8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

AMARAL, Camila S. do, et al. **Eficiência da Extração Multifásica no subsolo argiloso contaminado por hidrocarbonetos.** Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, IFSP, Disponível em <<https://uspdigital.usp.br>> Acesso em 01 de novembro de 2014.

Arend, Clarissa de Oliveira et al. **Dossiê Técnico - Passivos Ambientais**. Centro Nacional de Tecnologias Limpas - CNTL, SENAI - RS, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13786:2005 versão corrigida 2009. Posto de serviço - Seleção de equipamentos e sistemas para instalações subterrâneas de combustíveis**. Disponível em <www.abnt.org.br> Acesso em 01 de novembro de 2014.

Presidência da República. **Lei Federal n.º: 9.605/1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente**. Disponível em <www.planalto.gov.br> Acesso em 01 de novembro de 2014.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Decisão da Diretoria Nº 195/2005/E – Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas**. Disponível em <www.cetesb.sp.gov.br/solo> Acesso em 01 de novembro de 2014.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Decisão da Diretoria Nº 010/2006/C – Procedimentos para o Licenciamento de Postos e Sistemas Retalhistas de Combustíveis**. Disponível em <www.cetesb.sp.gov.br/solo> Acesso em 01 de novembro de 2014.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Decisão da Diretoria Nº 103/2007/C/E – Dispõe sobre o procedimento para gerenciamento de áreas contaminadas**. Disponível em <www.cetesb.sp.gov.br/solo> Acesso em 01 de novembro de 2014.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Decisão da Diretoria Nº 263/2009/P – Roteiro para Execução de Investigação Detalhada e Elaboração de Plano de Intervenção em Postos e Sistemas Retalhistas de Combustíveis**. Disponível em <www.cetesb.sp> Acesso em 01 de novembro de 2014.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Ações corretivas baseadas em risco (ACBR) aplicadas a áreas contaminadas com hidrocarbonetos derivados de petróleo e outros combustíveis líquidos**. São Paulo: CETESB, 2006. Disponível em <www.cetesb.sp.gov.br> Acesso em 01 de novembro de 2014.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Capítulo X - Investigação para Remediação**. Disponível em <www.cetesb.sp.gov.br> Acesso em 01 de novembro de 2014.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Hidrogeologia - Noções e Definições em Hidrogeologia**. Disponível em <www.cetesb.sp.gov.br> Acesso em 01 de novembro de 2014.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Lista holandesa de valores de qualidade do solo e da água subterrânea – Valores STI**. Disponível em <www.cetesb.sp.gov.br/solo> Acesso em 01 de novembro de 2014.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de gerenciamento de áreas contaminadas**. Disponível em <www.cetesb.sp.gov.br> Acesso em 01 de novembro de 2014.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Procedimento para Identificação de Passivos Ambientais em Estabelecimentos com Sistema de Armazenamento Subterrâneo de Combustíveis (SASC)**. São Paulo: CETESB, 2007. Disponível em <www.cetesb.sp.gov.br> Acesso em 01 de novembro de 2014.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Relatório de atendimento a acidentes ambientais em postos e sistemas retalhistas de combustíveis 1984 a 2004**, 2005. Disponível em <www.cetesb.sp.gov.br> Acesso em 01 de novembro de 2014.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Relatório de estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo**. Disponível em <www.cetesb.sp.gov.br> Acesso em 01 de novembro de 2014.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Relatório de emergências químicas atendidas pela CETESB em 2009**, 2010. Disponível em <www.cetesb.sp.gov.br> Acesso em 01 de novembro de 2014.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Texto Explicativo: Relações de áreas contaminadas e reabilitadas no estado de São Paulo**, 2013. Disponível em <www.cetesb.sp.gov.br> Acesso em 01 de novembro de 2014.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA n.º: 420/2009 - Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo.** Disponível em <www.mma.gov.br> Acesso em 01 de novembro de 2014.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE **Resolução CONAMA n.º: 273/2000 - Dispõe sobre prevenção e controle da poluição em postos de combustíveis e serviços.** Disponível em <www.mma.gov.br> Acesso em 01 de novembro de 2014.

COUTINHO, Rômulo C. P. e GOMES, Carisia C.. **Técnicas para Remediação de Aquíferos Contaminados por Vazamentos de Derivados de Petróleo em Postos de Combustíveis.** São Paulo, 2007. Disponível em: <www.abrh.org.br> Acesso em 01 de novembro de 2014.

DOXOR - SOLUÇÕES AMBIENTAIS. **Soluções e Sistemas de Remediação Ambiental.** Disponível em <www.doxor.com.br>. Acesso em 01 de novembro de 2014.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 2. ed. – Rio de Janeiro : EMBRAPA - SPI, 2006. 306 p.

FERREIRA, Silvia M. et al. **Comportamento da gasolina com etanol (E-20) e da gasolina pura após a simulação de um vazamento em colunas de laboratório.** *Revista do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo - USP*, São Paulo - SP, 2004. Disponível em <www.revistas.usp.br>. Acesso em 01 de novembro de 2014.

GREGORCZYK, Giuliano e PICCIONI, Willian J., **Análise de Eficiência da Remediação por Sistema Extração Multifásica em Postos de Combustíveis.** TCC apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Processos Ambientais - DAQBI - Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Curitiba, 2011.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Decreto Estadual n.º: 32.955. Dispõe sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas.** São Paulo - SP. 1991.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Lei Estadual n.º: 13.577. **Dispõe sobre as diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento de áreas contaminadas.** São Paulo - SP. 2009.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Decreto Estadual n.º: 59.263. **Regulamenta a Lei Estadual n.º: 13.577/2009 que trata da proteção da qualidade do solo contra alterações nocivas por contaminação, da definição de responsabilidades, da identificação e do cadastramento de áreas contaminadas e da remediação dessas áreas de forma a tornar seguros seus usos atuais e futuro.** São Paulo - SP. 2009.

LOLLO, José Augusto de e SILVA, Palloma Ribeiro da. **Caracterização de Passivos Ambientais e o Processo da Extração Multifásica de Hidrocarbonetos.** 2012. Disponível em <www.ifsp.edu.br> Acesso em 01 de novembro de 2014.

SILVA, Palloma Ribeiro da. **Avaliação de processos de caracterização e remediação de passivos ambientais de contaminação por hidrocarbonetos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia na Área de Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira, 2009. Disponível em <<http://www.ppgec.feis.unesp>>. Acesso em 01 de novembro de 2014.

TECNOHIDRO - ENGENHARIA AMBIENTAL. **Técnicas e Serviços de Biorremediação.** Disponível em <www.tecnohidro.com.br> Acesso em 01 de novembro de 2014.