

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

Beatriz Miranda Gil

**O CONTROLE DA EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL AO
BENZENO EM ATIVIDADES DE REMEDIAÇÃO AMBIENTAL**

São Paulo

2008

Beatriz Miranda Gil

**O CONTROLE DA EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL AO BENZENO EM
ATIVIDADES DE REMEDIAÇÃO AMBIENTAL**

**Texto apresentado ao Instituto de Pesquisas
Tecnológicas - IPT, para obtenção do título de
Mestre em Tecnologia Ambiental.**

**Área de Concentração: Mitigação de Impactos
Ambientais**

Orientador: Prof. Dr. Maria Filomena de Andrade
Rodrigues

São Paulo

2008

Aos meus pais, com muito amor.

Agradecimentos

Ao longo destes três anos e meio não foram poucas as pessoas que contribuíram ou me apoiaram na elaboração desta dissertação.

Gostaria de agradecer primeiramente a minha orientadora, Profa. Dra. Maria Filomena de Andrade Rodrigues. Sua receptividade, apoio e direcionamento foram fundamentais para que este trabalho fosse finalizado a tempo.

Em segundo lugar, agradeço aos meus pais, os maiores responsáveis pela minha formação acadêmica e educação informal. Com eles aprendi a valorizar o que é certo, questionar o que parece errado e correr atrás do que pode ser melhorado.

À Essencis, sou grata pelo apoio financeiro e pela ajuda de pessoas-chave que estiveram ou estão nesta empresa: Luciano Amaral, Giovanna e Patty Oshiro.

À Arcadis, minha gratidão pelo acolhimento e compreensão justamente na reta final deste trabalho.

Às minhas irmãs, Adriana e Patricia e ao meu irmão, Julio, eu preciso confessar que é sempre um conforto saber que alguém (ou algumas pessoas) acredita que somos tão melhores do que realmente somos. A vontade de estar à altura do conceito que vocês têm de mim me faz tentar ser uma pessoa melhor.

À Sheila e aos meus queridíssimos cunhados, Gabi, Pieter e Carlão, prometo que estarei mais disponível para eventos gastronômicos, finais de semana na Baleia, mergulhos na Ilha Grande e muito axé em Salvador.

Aos Pascale: Ileana, Edução, Edu, Claudia, Fê, Marcel e Talita, por me acolherem nesta família maravilhosa.

Agradeço a algumas pessoas responsáveis por me divertirem até nos piores momentos de tensão. São meus grandes amigos: Pedro, Fê Morena, Fê Loira, Ligia, Maren, Carol, Gui, Carlão e PJ.

Finalmente, não posso deixar de mencionar o mais paciente, compreensivo, incentivador de todos. Fil, sem você nada faria sentido.

RESUMO

A obrigatoriedade do licenciamento ambiental dos postos de combustíveis, instituída pela Resolução CONAMA 273/00, foi responsável pelo aumento na demanda de serviços de remediação. A obtenção das metas de remediação, no entanto, contempla apenas os riscos à saúde dos moradores e trabalhadores locais, excluindo a exposição dos indivíduos envolvidos com a descontaminação da área, por ser esta uma questão de saúde ocupacional. Este trabalho inclui uma pesquisa bibliográfica acerca do efeito da exposição ao benzeno a indivíduos empregados na remediação de postos de serviços, a legislação referente ao benzeno, observações feitas durante o acompanhamento de atividades de campo, juntamente com o resultado de questionários aplicados a profissionais de uma consultoria ambiental. O benzeno está situado em uma seleta categoria formada por substâncias consideradas cancerígenas com base em dados obtidos a partir de seres humanos e animais. Como efeitos conhecidos da exposição a este composto, destacam-se as doenças do sangue, sendo a leucemia a conseqüência mais grave. Estudos apontam para aumento de risco de câncer em concentrações tão baixas quanto 1 ppm, limite máximo permitido em áreas de trabalho (exceto siderúrgicas). Práticas de trabalho como a verificação do odor de combustíveis, permanência em áreas de grande concentrações de compostos voláteis e limpeza de caixas separadoras de água e óleo sem o uso de proteção respiratória são citadas como exemplos de ações que devem ser evitadas. Este trabalho apresenta uma estimativa para a concentração de benzeno no ar durante o manuseio de fase livre de gasolina ou de água contendo benzeno dissolvido, resultando em concentrações de benzeno no ar acima do limite definido pelo Ministério do Trabalho e Emprego, o que indica a necessidade de proteção respiratória no manuseio de fase livre de gasolina. Considerando-se os dados sobre a exposição ocupacional ao benzeno, os resultados dos questionários e as observações de campo, foram propostas diretrizes relacionadas aos trabalhos de remediação ambiental em postos de combustíveis.

Palavras-Chave: exposição ocupacional, remediação, benzeno, postos de combustíveis.

ABSTRACT

Controlling occupational exposure to benzene in environmental remediation activities

The CONAMA Resolution 273/00, which ruled about the obligation for service stations to obtain environment permissions to operate, was responsible for the increase in demand for remediation services. Remediation targets, however, are obtained through health risk assessment for residential receptors and local workers, excluding remediation workers' exposure, for this is considered to be an occupational health issue. This study presents a bibliographic review about effects of occupational exposure to benzene on those employed in service station remediation activities, benzene legislation, fieldwork observation, as well as the result of the questionnaires applied to employees of an environmental consulting company. Benzene belongs to a select category of substances considered carcinogenic based on human and animal data. The most known effects of benzene exposure are the blood diseases, with leukemia being the most severe consequence. The increase in cancer risk rates has been proved to occur at concentrations as low as 1 ppm, maximum value allowed for work areas (excluding iron industries). As examples of work habits which should be avoided are fuel odor verification, the permanence in high volatile hydrocarbons concentration and the cleaning of the oil/water separator without respiratory protection. Benzene concentration in air during the handling the gasoline-free phase or water containing dissolved benzene was assessed. Results showed benzene concentrations in air above the limit set by the government, meaning that respiratory protection is needed when the gasoline-free phase is handled. Considering the data about occupational exposure to benzene, the results from the questionnaires and the fieldwork observation, guidelines related to environmental remediation activities in service stations were proposed.

Keywords: occupational exposure, remediation, benzene, service stations.

Lista de Ilustrações

Figura 1.1 Identificação de Áreas contaminadas no estado de São Paulo.	15
Figura 4.1 Áreas contaminadas – distribuição por atividade (novembro/2006).....	25
Figura 4.2 Áreas contaminadas em postos de combustíveis – distribuição quanto ao estágio de remediação (novembro/2006).....	25
Figura 4.3 Técnicas de Remediação Implantadas (novembro/2006)	26
Figura 5.1 Monitoramento de poço próximo à canaleta perimetral	52
Figura 5.2 Amostragem de águas subterrâneas	53
Figura 5.3 Monitoramento do sistema de remediação	54
Figura 5.4 Desenvolvimento de poço próximo à área de abastecimento.....	55
Figura 5.5 Exposição aos contaminantes durante a limpeza de caixas separadoras	55
Figura 5.6 Imagem de ficha de amostragem de água	56
Figura 5.7 Compilação dos resultados	58

Lista de Tabelas

Tabela 4.1 Valores Orientadores para o Benzeno no Estado de São Paulo.....	37
Tabela 4.2 Atividades de remediação, riscos e medidas de controle.....	42
Tabela 5.1 Exposição de Frentistas ou atendentes de lojas de conveniência em postos de combustíveis.....	44
Tabela 5.2 Estimativas de exposição para tarefas específicas	45
Tabela 5.3 Estimativas de exposição utilizando experimento de Fedoruk	47
Tabela 5.4 Informações referentes aos locais de trabalho avaliados.....	49
Tabela 5.5 Observações em campo de atividades de remediação em postos de combustíveis.....	51
Tabela 5.6 Respostas dos questionários.....	57
Tabela 5.7 Diretrizes para a redução da exposição ao benzeno	63

Lista de Abreviaturas e Siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANP	Agência Nacional de Petróleo
ATSDR	Agency for Toxic Substances and Disease Registry
AttM-U	ácido trans, trans-mucônico urinário
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CONAMA.....	Conselho Nacional do Meio Ambiente
EPI	equipamento de proteção individual
IARC.....	International Agency for Research on Cancer
IPVS	concentração imediatamente perigosa à vida ou à saúde
LMA	leucemia mielóide aguda
PAH.....	hidrocarbonetos policíclicos aromáticos
ppb	partes por bilhão
ppm	partes por milhão
MTE.....	Ministério do Trabalho e Emprego
NIOSH.....	National Institute for Occupational Safety and Health
OSHA	Occupational and Safety Health Administration
USEPA	United States Environmental Protection Agency
VOC	compostos orgânicos voláteis
VRT	valor de referência tecnológico

Sumário

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	16
2.1	Objetivo Geral	16
2.2	Objetivos Específicos	16
3	MÉTODO	18
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
4.1	Ocorrência e uso do benzeno	21
4.2	A contaminação do solo e água subterrânea por benzeno	22
4.2.1	Investigação ambiental e remediação	22
4.2.2	Dados mundiais	23
4.2.3	Dados nacionais	24
4.3	Efeitos da exposição de seres humanos ao benzeno	26
4.3.1	Vias de exposição e efeitos do benzeno no organismo humano	26
4.3.2	A relação entre doenças do sangue e exposição ao benzeno	28
4.3.3	Indicador biológico de exposição	32
4.4	Legislação	33
4.4.1	Limites na composição de produtos acabados	33
4.4.2	Saúde	33
4.4.3	Meio ambiente	36
4.5	Exposição ocupacional ao benzeno	37
4.5.1	Casos estudados em postos de combustíveis	38
4.5.2	O benzenismo no Brasil	39
4.5.3	Precauções e práticas seguras	40
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
5.1	Estimativa de exposição	44
5.2	Observação de trabalhos de campo	49
5.3	Resultados dos questionários	56
5.4	Diretrizes para execução de serviços de remediação	59
6	CONCLUSÕES	64
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
	ANEXO	71

1 INTRODUÇÃO

A falta de informação pode fazer com que uma ação aparentemente inofensiva traga graves conseqüências ao meio-ambiente.

Como exemplo pode-se citar a maneira como as indústrias dispunham seus resíduos há 40 ou 50 anos. Eram práticas usuais a abertura de cavas no solo para enterrar borras oleosas e lodos de estações de tratamento ou a injeção de efluentes líquidos em poços profundos, entre outras.

Isso porque o solo foi considerado por muito tempo um receptor ilimitado de substâncias nocivas descartáveis, como o lixo doméstico e resíduos industriais. Acreditava-se no efeito tampão e potencial de auto depuração. Porém essa capacidade, como ficou comprovado posteriormente, foi superestimada (CETESB, 2001).

De acordo com o “Relatório de Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo” (CETESB, 2005), áreas contaminadas são definidas por meio de uma investigação confirmatória, isto é, amostragem e análise química de solos ou águas subterrâneas, que verifique concentrações de contaminantes acima dos valores de intervenção estabelecidos por esse mesmo relatório, ou pela presença de fase livre do contaminante (gasolina, solvente, etc).

Fetter (2001) divide as fontes de contaminação das águas subterrâneas em seis categorias:

- a. Fontes projetadas para receber a descarga de substâncias, como por exemplo, as fossas sépticas;
- b. Fontes projetadas para reter substâncias durante o transporte (redes de esgoto, tubulações de gás, produtos petroquímicos, entre outros);
- c. Fontes que descarregam substâncias como conseqüência de outra atividade planejada, a exemplo da irrigação, uso de pesticidas ou fertilizantes;

- d. Dutos para entrada de água contaminada no aquífero, como os poços construídos para a produção de óleo, gás ou água;
- e. Fontes naturais, cuja descarga é criada ou exacerbada pela atividade humana (interação das águas subterrâneas com as superficiais, a lixiviação e a intrusão salina); e
- f. Fontes projetadas para armazenamento, tratamento e disposição de substâncias. Esta categoria inclui os aterros mal projetados ou abandonados, os lixões, lagoas artificiais utilizadas para armazenamento ou tratamento de efluentes líquidos, armazenamento de produtos a céu aberto, vazamento de tanques aéreos e subterrâneos.

Chamam atenção nesta última categoria os tanques subterrâneos utilizados para o armazenamento de produtos derivados de petróleo nos postos de combustíveis. De acordo com a Agência Nacional de Petróleo (ANP, 2007), em março de 2007 havia no país mais de 34 mil postos revendedores de combustíveis.

São apontados como problemas em consequência da degradação de uma área, os riscos à segurança das pessoas e de propriedades, riscos à saúde pública e ecossistemas, as restrições ao desenvolvimento urbano e a redução do valor imobiliário da propriedade.

Após a confirmação da presença de contaminantes em um determinado local, a próxima etapa no gerenciamento desta área envolve o planejamento da remediação, que inclui medidas de:

- investigação detalhada;
- avaliação de risco;
- concepção da remediação;
- projeto de remediação;
- remediação; e
- monitoramento (CETESB, 2007a).

Com a publicação da Resolução CONAMA 273, em novembro de 2000, os órgãos ambientais estaduais foram obrigados a exigir o licenciamento ambiental dos postos de combustíveis (CONAMA, 2000). O comércio varejista de combustíveis, lubrificantes e gás liquefeito de petróleo foi classificado pela CETESB como atividade potencialmente contaminadora pelo Manual de Gerenciamento de Áreas

Contaminadas (CETESB, 2001) e um processo de cadastramento dos postos de serviços foi iniciado.

Este processo resultou no aumento de informação acerca da qualidade ambiental dos solos e águas subterrâneas, com a identificação de diversas áreas contaminadas. Somente no estado de São Paulo, dados de novembro de 2006 divulgados pela CETESB apontam para 1352 postos de serviços contaminados em um total de 1822 áreas identificadas. Destas, 65% registram como contaminantes a presença de solventes aromáticos, grupo encabeçado pelo benzeno (CETESB, 2007a).

O benzeno está situado em uma seleta categoria formada por substâncias consideradas cancerígenas com base em dados obtidos a partir de seres humanos e animais (ATSDR, 2005).

Conforme citado, após a identificação da área contaminada, procede-se uma investigação detalhada seguida da avaliação de risco. Nesta etapa, na existência de risco à saúde da população exposta aos contaminantes presentes, define-se a necessidade de implantação de medidas de remediação e são estabelecidas as metas de remediação (CETESB, 2007a).

Para a definição das metas de remediação, é necessário observar o uso atual e futuro da área e seu entorno. Para isso, deve-se:

- entender os mecanismos de liberação e transporte do contaminante no meio físico;
- identificar as populações expostas;
- identificar todas as vias potenciais de exposição; e
- estimar as concentrações nos pontos de exposição, para cada via específica (CETESB, 2001).

O estudo de análise de risco, no entanto, desconsidera como população exposta os trabalhadores no processo de remediação do local. De fato, esta exposição deve ser considerada como ocupacional e, portanto, não é contemplada pela análise de risco. Mesmo assim, não se deve ignorar o fato de que as pessoas empenhadas na remediação de áreas contaminadas executam atividades que podem aumentar a exposição aos contaminantes presentes, como a manipulação de água subterrânea ou solo contaminados durante medições, amostragens, execução de sondagens,

remoção de combustível presente como fase livre sobrenadante à água subterrânea, limpeza de caixas separadoras de água e óleo, dentre outras. Além disso, assim que uma área é considerada descontaminada, estes profissionais são transferidos para uma nova área a ser remediada, ou seja, a exposição destes indivíduos pode ser constante.

Cohen, Beck e Rudel (1997), em estudo hipotético, comparam o risco de ocorrência de câncer entre os residentes de áreas próximas aos Superfund Sites¹, com a chance de ocorrência de fatalidades ocupacionais entre os trabalhadores para a remediação destas áreas. Para a comparação entre estes riscos, é utilizada a medida de “anos de vida potencial perdidos” (*years of potential life lost – YPLL*). Como resultado, foram estimados 1,3 YPLL para os residentes e 5,7 YPLL para os indivíduos envolvidos na remediação da área contaminada. Neste estudo, foram consideradas como fatalidades ocupacionais apenas os acidentes decorrentes das atividades de escavação e aterramento durante um ano, tempo estimado para a descontaminação do local, ou seja, o contato com substâncias tóxicas ou cancerígenas não foi levado em conta. De fato, a exposição dos trabalhadores a estas substâncias durante um ano é irrelevante se comparada à exposição dos residentes por uma vida inteira. No entanto, finalizada a obra para a descontaminação desta área, este mesmo trabalhador poderá ser deslocado para a remediação de uma nova área, também contaminada, e assim por diante, resultando na exposição contínua deste indivíduo a compostos perigosos.

Este cenário foi avaliado por Elovaara et al. (2005), em estudo estimativo da exposição a hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAH) por trabalhadores empenhados na remoção de solo de uma antiga área de impregnação de madeira, contaminada por óleo de creosoto. Níveis de 1-hidroxipireno (metabólito dos compostos PAH) foram avaliados e resultaram em valores acima de 3nmol/l (limite finlandês para indivíduos não expostos a PAH) na urina de oito dos nove indivíduos expostos a óleo de creosoto.

¹ áreas contaminadas amparadas pelo programa federal norte-americano Superfund – criado em 1980 pelo decreto “Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act”, por oferecerem riscos à saúde da população ou ao meio ambiente reconhecidamente elevados, também chamadas como áreas órfãs pela ausência de responsável identificado ou pela falta de condições financeiras para custear trabalhos de investigação e remediação.

A demanda crescente por serviços de remediação em postos de combustíveis no estado de São Paulo é evidenciada pelos dados da CETESB (2007a) apresentados na **figura 1.1**. Assim, mostra-se como pertinente a discussão acerca dos efeitos da exposição ocupacional ao benzeno aos trabalhadores envolvidos nesta tarefa.

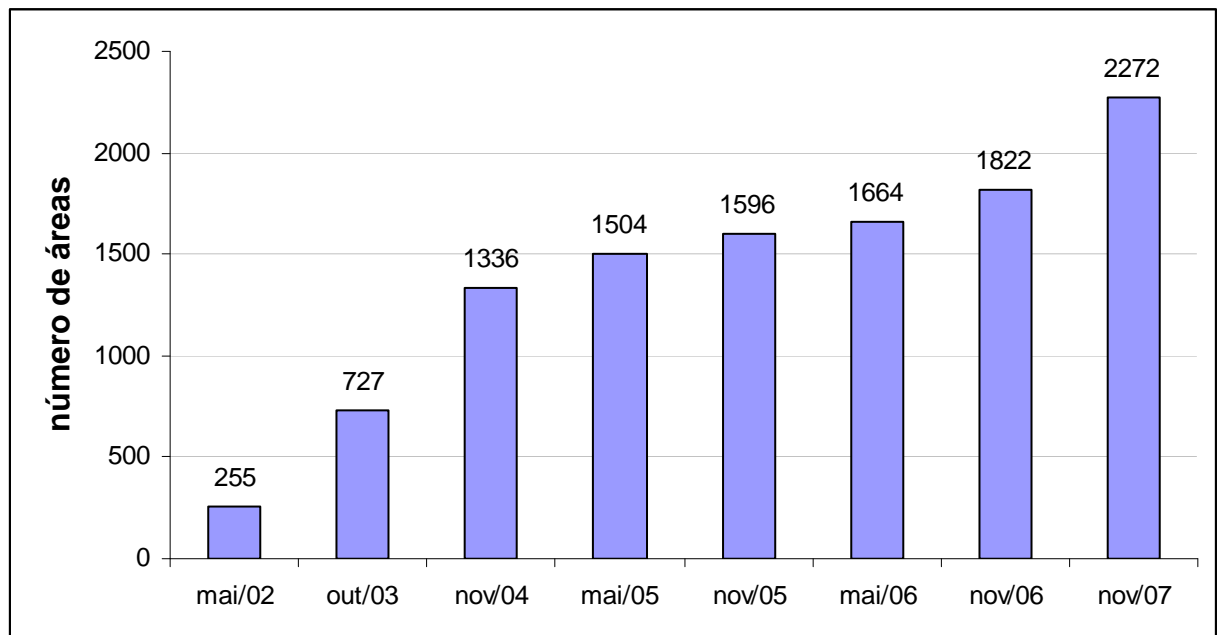


Figura 1.1 Identificação de áreas contaminadas no estado de São Paulo.

Fonte: CETESB, 2007a (modificado).

2 OBJETIVOS

Os objetivos do presente trabalho foram divididos em geral e específicos.

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desta pesquisa é verificar o potencial de risco da exposição ocupacional ao benzeno por trabalhadores envolvidos na remediação de áreas contaminadas e consolidar diretrizes para a redução desta exposição.

2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos compreendem:

- o estudo do uso e ocorrência do benzeno e suas propriedades físico-químicas;
- a verificação dos meios de contaminação por benzeno de uma área;
- a pesquisa de dados sobre a quantidade de áreas contaminadas e áreas em remediação no Brasil e no mundo;
- o levantamento da legislação sobre o benzeno;
- a realização de um levantamento bibliográfico sobre casos estudados de exposição ao benzeno;
- a indicação de uma relação entre exposição ao benzeno e efeitos à saúde;
- o levantamento de métodos de monitoramento da exposição ao benzeno;

- a verificação dos cuidados tomados por trabalhadores durante serviços de remediação de áreas contaminadas com relação à exposição ocupacional a contaminantes; e
- a recomendação de diretrizes para evitar o contato com o benzeno durante os trabalhos de remediação ambiental.

3 MÉTODO

Este estudo envolveu, principalmente, uma pesquisa exploratória, para avaliar os efeitos à saúde da exposição ocupacional ao benzeno, de trabalhadores da área de remediação de solo e água subterrânea. De acordo com Gil (1999), as “pesquisas exploratórias são desenvolvidas com o objetivo de proporcionar visão geral, de tipo aproximativo, acerca de determinado fato”.

Secundariamente, fez parte deste trabalho também uma pesquisa metodológica, visto que foram propostas diretrizes para a minimização da exposição ocupacional destes trabalhadores ao benzeno.

Por meio da revisão bibliográfica, primeira etapa do trabalho, procurou-se situar a pesquisa na área de remediação de postos de combustíveis, definir os riscos à saúde de trabalhadores para determinados níveis de exposição ao benzeno, e verificar a legislação referente a este composto.

Para isso, buscaram-se as palavras-chave “benzene”, “leukemia”, “occupational exposure”, “remediation”, “service station”. Foram utilizadas as ferramentas de busca “Science Direct” e “Pub Med” e foram selecionados artigos dos últimos dez anos, com exceção de alguns artigos anteriores a este período que se mostraram especialmente relevantes (por serem muito citados em outros artigos ou por apresentarem dados históricos). A legislação foi consultada pela internet, principalmente em páginas de órgãos públicos, incluindo o Ministério do Trabalho e Emprego, Ministério do Meio Ambiente, FUNDACENTRO, CETESB e Ministério da Saúde. Um documento de extrema relevância para este trabalho foi o “Toxicological Profile for Benzene”, da Agência de Substâncias Tóxicas e Registro de Doenças norte-americana (ATSDR – *Agency for Toxic Substances and Disease Registry*, de setembro de 2005). Esta publicação apresenta uma compilação de diversos trabalhos acerca dos efeitos do benzeno à saúde e, portanto, colaborou para fundamentar estes conceitos em um primeiro momento.

Em uma segunda etapa, foram observados trabalhos de campo de funcionários de uma consultoria ambiental em postos de combustíveis atualmente em remediação, localizados na região metropolitana de São Paulo. Os funcionários foram escolhidos por fazerem parte da equipe operacional e constituírem o grupo de indivíduos desta empresa expostos ao benzeno em suas atividades de campo. Esta etapa teve como objetivo identificar as atividades praticadas por estes indivíduos, as quais resultam em exposição ocupacional ao benzeno.

Com base nas observações feitas em campo e na revisão bibliográfica, foi elaborado um questionário, para averiguar os cuidados utilizados pela equipe operacional desta empresa nas atividades de campo e o nível de conhecimento destes indivíduos acerca dos efeitos do benzeno à saúde.

Foram formuladas nove questões fechadas, ou seja, questões para as quais é apresentado um conjunto de alternativas de resposta (GIL, 1999). Dados do funcionário como cargo, grau de instrução, sexo e tempo de trabalho na área foram solicitados para permitir uma futura relação destas informações com as respostas das questões. Por exemplo, esperava-se que um funcionário com maior grau de instrução e maior tempo de casa tivesse cuidados maiores no contato com substâncias tóxicas e fosse mais informado dos malefícios do contato com contaminantes. A identificação de fumantes também mostrou-se como importante já que estes indivíduos merecem orientação especial por já estarem expostos ao benzeno presente no cigarro.

Com relação às questões fechadas, sete delas procuraram verificar o comportamento de trabalhadores relacionados à exposição ocupacional ao benzeno e à sua prevenção durante o monitoramento de poços e a limpeza de caixas separadoras, ambas atividades cotidianas, conforme registrado pelo corpo de engenheiros do exército norte-americano, *US Army Corps of Engineers* (USACE, 2003). As últimas questões procuraram investigar o nível de conhecimento do trabalhador acerca das possíveis vias de entrada do benzeno no organismo e do seu poder cancerígeno.

Em seguida, foram propostas diretrizes de redução da exposição ao benzeno aos trabalhadores de remediação. Para isso, foram utilizados os seguintes procedimentos metodológicos:

- a. cruzamento dos dados levantados: buscou-se associar níveis de exposição ao benzeno em atividades descritas na literatura a atividades de remediação semelhantes. As tarefas de remediação selecionadas foram obtidas em USACE (2003) ou observadas em campo. Foram selecionadas atividades relacionadas aos sistemas de remediação mais utilizados no estado de São Paulo, conforme levantamento da CETESB (2007a), ou seja, sistemas de extração multifásica, remoção de fase livre, bombeamento e tratamento e extração de vapores, os quais representam 94% dos sistemas implantados (em operação ou com remediação concluída);
- b. discussão dos resultados obtidos, por meio da comparação entre a necessidade de medidas de proteção individual ou coletiva para determinada atividade e a efetiva adoção destas medidas observada em campo e por meio dos questionários, esclarecendo a necessidade ou não de aumento na prevenção da exposição ao benzeno. Vale ressaltar que não se pretendia elaborar um estudo estatístico a partir dos questionários aplicados, mas somente extrair informações acerca de atividades de remediação usuais com o intuito de orientar a etapa posterior; e
- c. consolidação de diretrizes para a minimização da exposição ao benzeno, tendo em vista as práticas observadas em campo, o resultado dos questionários e recomendações encontradas na literatura.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A seguir são apresentadas informações acerca da ocorrência e uso do benzeno, como esta substância pode contaminar o solo ou a água subterrânea e qual a dimensão do problema no estado de São Paulo, no Brasil e no mundo. São também esclarecidos os efeitos da exposição de seres humanos ao benzeno e a legislação que regulamenta os limites da substância para a proteção da saúde e do meio ambiente. Finalmente, estão descritos neste capítulo casos documentados de exposição ocupacional ao benzeno, precauções e práticas seguras para a redução desta exposição.

4.1 Ocorrência e uso do benzeno

O benzeno é um líquido incolor a temperatura ambiente, com ponto de fusão de 5,5°C. Apresenta um odor doce, é volátil (ponto de ebulição 80,1°C e pressão de vapor a 26,1°C igual a 13,3kPA) e dissolve-se razoavelmente em água (1,8g/L a 25°C). É altamente inflamável e detectável pelo homem em concentrações tão baixas quanto 1,5 ppm (partes por milhão), no ar (ATSDR, 2005; WHO, 2003).

Atualmente o benzeno é usado na produção de plásticos como o estireno, resinas como o cumeno e ciclohexano e integra o processo de fabricação de adesivos, calçados, nylon e outras fibras sintéticas. Este composto também é usado como matéria-prima para borrachas, lubrificantes, tintas, drogas, detergentes e pesticidas (ATSDR, 2005).

De acordo com a Agência Sueca de Produtos Químicos (Swedish Chemicals Agency), em 1997 foram produzidas 20 milhões de toneladas deste produto químico no mundo. Atualmente, mais de 95% do benzeno produzido provém do petróleo. Os outros 5% são resultantes da produção de coque (SCA, 2007).

O benzeno está presente em emissões vulcânicas gasosas, incêndios de florestas, na fumaça do cigarro e na gasolina (ATSDR, 2005).

4.2 A contaminação do solo e água subterrânea por benzeno

O vazamento de um tanque de combustível subterrâneo, uma bomba ou tubulação resultará no aporte de contaminantes para o solo e, eventualmente, para a água subterrânea. O benzeno, juntamente com outros compostos presentes na gasolina, percorrerá o solo podendo alcançar a água subterrânea. Se for dissolvido neste meio, o contaminante caminhará juntamente com a água. Por ser menos densa, a gasolina pode também formar uma camada sobrenadante à água, denominada fase livre (FETTER, 2001).

4.2.1 Investigação ambiental e remediação

Com a resolução CONAMA 273/00, foi estabelecida a obrigatoriedade do licenciamento ambiental dos postos de combustíveis (CONAMA, 2000) e iniciou-se um processo de convocação sistemática por parte do órgão ambiental do estado de São Paulo para a regularização dos postos de combustíveis (CETESB, 2007a).

A CETESB, em junho de 2007, publicou o Procedimento para Gerenciamento de Áreas Contaminadas (CETESB, 2007b), dividido em dois processos: de identificação e reabilitação das áreas contaminadas. Cada um destes processos constitui-se de diversas etapas, a saber:

Processo de identificação:

- definição da região de interesse;
- identificação de áreas com potencial de contaminação;
- avaliação preliminar; e
- investigação confirmatória.

Processo de reabilitação:

- investigação detalhada;
- avaliação de risco;
- concepção da remediação;
- projeto de remediação;
- remediação; e
- monitoramento.

A investigação detalhada e avaliação de risco compreendem atividades como execução de sondagens, instalação de poços de monitoramento e amostragens para determinação de concentrações de contaminantes no solo e água subterrânea, caracterização do meio físico e ainda remoção de fase livre de combustível (como medida emergencial).

Já a remediação poderá envolver a instalação de poços de extração, bombeamento ou injeção de nutrientes, o monitoramento do solo ou da água subterrânea, por meio da coleta de amostras e atividades de operação e manutenção do sistema de remediação como a limpeza de caixas separadoras de água e óleo ou torres de *air stripping*, transporte de material contaminado, troca de material filtrante como carvão ativado, entre outros.

4.2.2 Dados mundiais

Uma compilação de dados pela agência ambiental europeia (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2006) indica mais de 4.700 áreas sendo remediadas, em 2004, no grupo de países que inclui Áustria, Croácia, República Tcheca, Finlândia, França, Hungria, Itália, Lituânia, Luxemburgo, Malta, Países Baixos, Noruega e Eslováquia. De acordo com esta mesma agência, 6% das áreas contaminadas têm como principal grupo contaminante os hidrocarbonetos aromáticos (BTEX).

Por sua vez, um levantamento da agência ambiental norte americana (USEPA, 2007) datado de setembro de 2005 registrou a necessidade de remediação em mais

de 119 mil estabelecimentos nos Estados Unidos que possuíam tanques subterrâneos de armazenamento de combustíveis.

Desde 1984, o programa “Underground Storage Tanks”, voltado para a remediação de áreas contaminadas em decorrência do armazenamento de substâncias em tanques subterrâneos, registrou mais de 474 mil sítios impactados, sendo que 365 mil já foram remediados (USEPA, 2007). A maior parte desta contaminação é decorrente do armazenamento de combustíveis e, conseqüentemente, implica no impacto por compostos como os hidrocarbonetos aromáticos, grupo ao qual faz parte o benzeno.

4.2.3 Dados nacionais

Em 2006, de acordo com a Agência Nacional de Petróleo, foram comercializados no Brasil mais de 90 milhões de metros cúbicos de produtos derivados de petróleo. De acordo com estimativa desta agência, em março de 2007 havia 34.338 postos revendedores de combustíveis no país (ANP, 2007).

No estado de São Paulo, em 2006, foram comercializados 26 milhões de metros cúbicos de produtos derivados de petróleo. Uma estimativa de março de 2007, feita pela Agência Nacional de Petróleo, contabilizou 8.421 postos revendedores de combustíveis no estado (ANP, 2007).

A CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental), em novembro de 2006, atualizou seus dados, listando 1.822 áreas contaminadas no estado de São Paulo, dentre as quais 1.352 postos de combustíveis, conforme a **figura 4.1**.

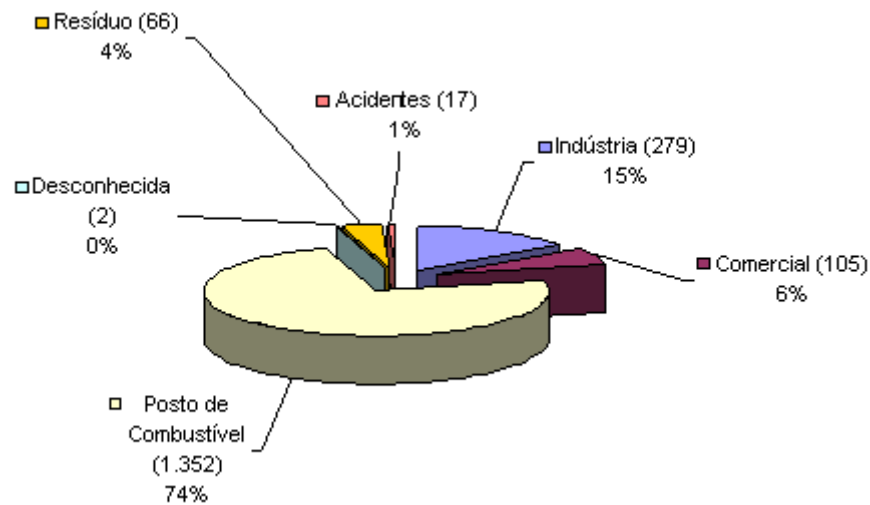


Figura 4.1 Áreas contaminadas – distribuição por atividade (novembro/2006)

Fonte: CETESB, 2007a

Atualmente, 480 postos de combustíveis estão sendo remediados. Outros 843 postos ainda não tiveram seu processo de descontaminação iniciado (**figura 4.2**).

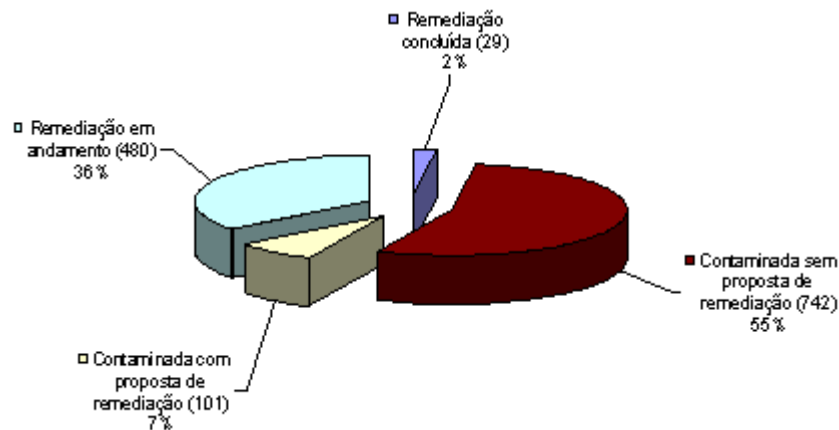


Figura 4.2 Áreas contaminadas em postos de combustíveis – distribuição quanto ao estágio de remediação (novembro/2006)

Fonte: CETESB, 2007a

A **figura 4.3** apresenta as técnicas de remediação implantadas nas áreas contaminadas do estado de São Paulo. Deste grupo, devem ser desatacadas as

técnicas de bombeamento e tratamento, remoção de fase livre, extração de vapores e extração multifásica, as quais correspondem a 94% das técnicas registradas.

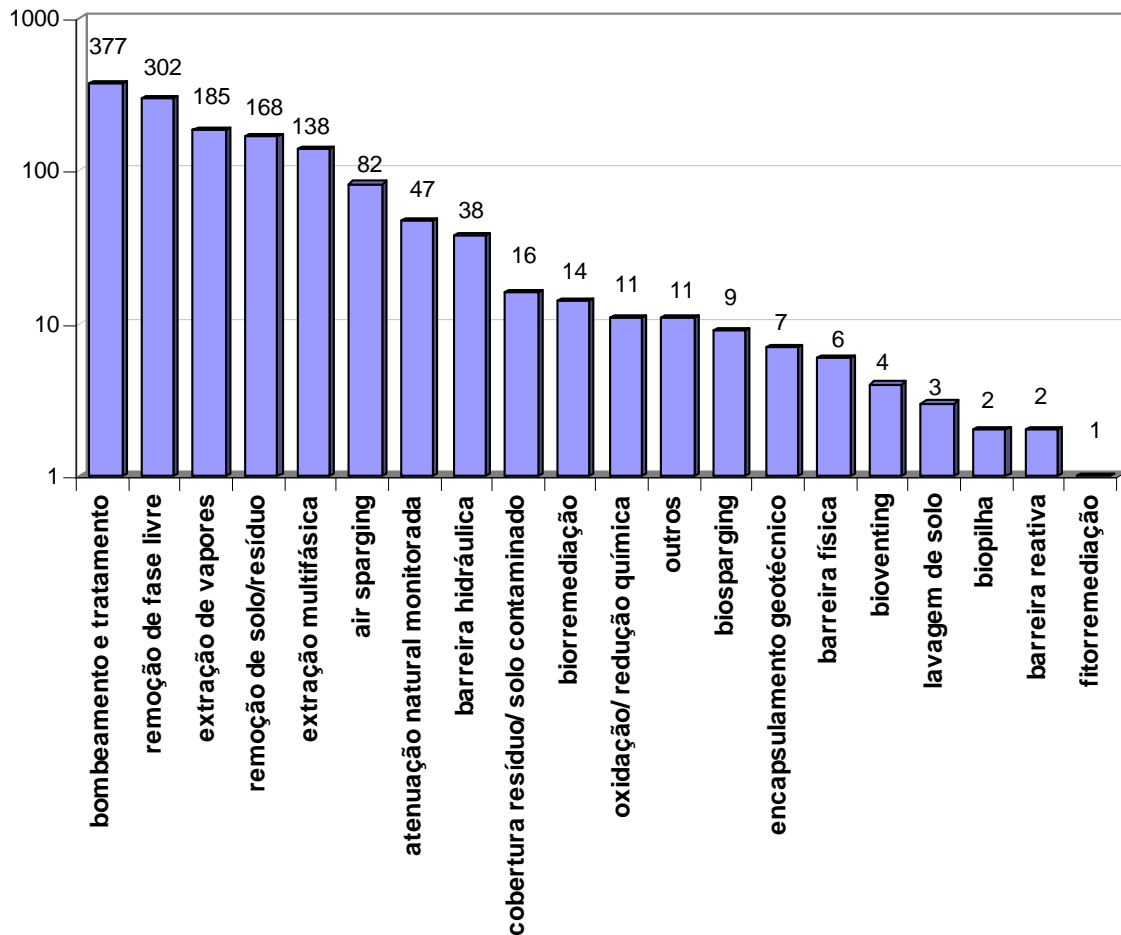


Figura 4.3 Técnicas de Remediação Implantadas (novembro/2006)

Fonte: CETESB, 2007a (modificado)

4.3 Efeitos da exposição de seres humanos ao benzeno

4.3.1 Vias de exposição e efeitos do benzeno no organismo humano

Todos estão expostos à fumaça de cigarros, gases lançados a partir de veículos, postos de gasolina e emissões industriais. De acordo com a Agência para Substâncias Tóxicas e Registro de Doenças – *Agency for Toxic Substances and*

Disease Registry (ATSDR, 2005), o fumante regular consome 32 cigarros diariamente, inalando 1,8 mg de benzeno por dia.

Já o contato com este composto por meio de alimentos ou de águas contaminadas (usadas para banho ou ingestão) é mínimo. A água potável em geral contém menos de 0,1 ppb de benzeno (ASTDR, 2005).

A exposição de cada indivíduo dependerá de fatores como proximidade de postos de combustíveis, locais de disposição de resíduos, indústrias que utilizam o benzeno no processo de fabricação de seus produtos, refinarias, além do tipo de atividade exercida, consumo de águas subterrâneas contaminadas, tabagismo, etc. (ASTDR, 2005).

O benzeno pode entrar no corpo humano por meio dos pulmões, trato gastrointestinal, ou através da pele. Nos casos de exposição a altas concentrações de benzeno no ar, aproximadamente metade do que foi inspirado entra, através do pulmão, na corrente sanguínea. Para os casos de ingestão de água ou alimentos contendo essa substância, a maior parte do que foi ingerido atravessa a parede do trato gastrointestinal, chegando na corrente sanguínea. Apesar de o contato dérmico também significar absorção imediata, parte da substância evapora-se da superfície da pele (ATSDR, 2005).

Por meio da corrente sanguínea, o benzeno percorrerá o corpo humano, podendo ser armazenado em tecidos adiposos ou na medula óssea. No fígado ou na medula óssea, este composto formará metabólitos, como o fenol, o catecol e a hidroquinona, os quais podem ser eliminados pela urina ou interagir com a medula óssea, causando danos ao organismo (ATSDR, 2005).

A exposição de trabalhadores, considerando-se jornadas de 8 horas diárias, a concentrações de benzeno superiores a 1 ppm – valor recomendado pelo órgão de saúde e segurança ocupacional do ministério do trabalho norte-americano (OSHA – Occupational Safety and Health Administration), por meses ou anos, pode resultar no déficit no número de células do sangue e, em casos mais severos, em pancitopenia clínica. A exposição contínua pode ocasionar anemia aplástica ou leucemia (ATSDR, 2005).

Pancitopenia significa a redução no número de eritrócitos, trombócitos e leucócitos, os três principais grupos de células do sangue. Isso ocorre, pois a habilidade da medula óssea de produzir estas células é reduzida pela exposição ao benzeno (ATSDR, 2005).

Já a anemia aplástica ocorre quando não mais são formadas células do sangue maduras, já que a medula óssea pára de funcionar. Este quadro pode progredir para a leucemia (ATSDR, 2005).

Dentre outros efeitos, já foram registradas alterações no sistema imunológico. O benzeno altera a imunidade adquirida humoral, pela alteração no nível de anticorpos no sangue e celular, afetando a circulação de leucócitos e linfócitos. Há dados sobre o efeito do benzeno no sistema reprodutivo e registros de problemas menstruais e abortos espontâneos (ATSDR, 2005).

Diversos estudos epidemiológicos e estudos de casos evidenciam a relação entre exposição ocupacional ao benzeno e a ocorrência de leucemia não linfocítica aguda, especialmente do tipo leucemia mielóide aguda – LMA (ATSDR, 2005).

De acordo com o Ministério da Saúde:

A Leucemia Mielóide Aguda (LMA) é caracterizada pela presença de células imaturas (blastos) na medula óssea e/ou sangue periférico, em percentual maior ou igual a 20% em relação às células nucleadas, mostrando diferenciação mielóide comprovada...., geralmente expressa num contexto de citopenia(s) periférica, de início rápido. Em adição, os pacientes com anormalidades citogenéticas recorrentes, de origem clonal.... devem ser consideradas como LMA, independente do número de blastos percentual. (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2006)

4.3.2 A relação entre doenças do sangue e exposição ao benzeno

Desde 1897, quando Le Noire descreveu um caso de leucemia relacionado à exposição ocupacional do benzeno, diversas doenças relacionadas ao uso desta substância foram reportadas (AKSOY, 1980).

Entre os anos 1940 e 1960, doenças relacionadas ao sangue, decorrentes da alta exposição ao benzeno, foram registradas. No entanto somente nos anos 1970 estudos epidemiológicos nos Estados Unidos relacionaram a leucemia à exposição ao benzeno (CAPLETON; LEVY, 2005).

Entre 1967 e 1974, após a verificação de diversos casos de leucemia entre pacientes envolvidos na fabricação de sapatos e produtos de couro, Muzzafer Aksoy, hematologista turco, conduziu um estudo epidemiológico e um trabalho de educação entre 28.500 trabalhadores (YARIS, et al. 2004).

O benzeno era usado em Istambul, desde 1955, como solvente no processo de fabricação da indústria de couro. Este produto tornou-se muito popular pelo agradável odor. Além disso, o benzeno estava presente na cola utilizada na confecção de sapatos. Com um detector de gases, Aksoy pôde medir concentrações de benzeno entre 150 e 210 ppm, chegando eventualmente a 650 ppm (YARIS, et al. 2004).

Os estudos de Aksoy indicaram discrasias no sangue decorrentes da exposição ao benzeno, como leucopenia, trombocitopenia, pancitopenia e anemia aplástica (YARIS, et al. 2004).

Uma relação causal entre a exposição ao benzeno e o desenvolvimento de leucemia foi estabelecida em virtude de três estudos realizados por Aksoy em Istambul, que resultaram nas seguintes conclusões:

- a. a incidência de leucemia entre um grupo de sapateiros era de 13/100.000, significativamente superior à média da população, de 6/100.000;
- b. o declínio da ocorrência anual de leucemia neste grupo de trabalhadores coincidiu com a proibição gradual seguida da interrupção do uso de benzeno em Istambul, em 1969;
- c. o desenvolvimento de leucemia em 6 de 44 pacientes pancitopênicos em decorrência da exposição ao benzeno evidenciou o efeito leucêmico desta substância para o homem;

- d. a distribuição dos tipos de leucemia nos indivíduos expostos cronicamente ao benzeno e nos pacientes não expostos fornece mais um indício do efeito do benzeno. A LMA, considerada como o tipo mais freqüente encontrado em pacientes expostos ao benzeno, foi verificada em 38% dos indivíduos expostos ao benzeno, valor muito superior aos 16% verificados no grupo não exposto.

Dois estudos em especial colaboraram para reforçar a carcinogenicidade do benzeno: o primeiro trabalho, publicado pelo Instituto Nacional de Segurança e Saúde Ocupacional norte-americano – NIOSH (*National Institute for Occupational Safety and Health*) em 1987 foi pioneiro na medida em que quantificou o risco de desenvolvimento de leucemia a partir de dados reais de exposição ao benzeno de um grupo de trabalhadores em uma indústria de manufatura de pliofilm (hidroclorato de borracha), uma resina termoplástica usada para embalagens. Sua importância também recai na pouca exposição dos trabalhadores a outras substâncias potencialmente carcinogênicas, ao mesmo tempo em que estavam extremamente expostos ao benzeno (RINSKY, 1989).

Já o segundo estudo (HAYES et al. 1997²; YIN et al. 1996a³, 1996b⁴ apud ATSDR, 2005) avaliou milhares de trabalhadores expostos a esta substância, verificando riscos elevados a baixos níveis de exposição.

Apesar de alguns estudos, como o de Schnatter et al. (1996), determinarem a ausência de relação entre a exposição a baixas concentrações de benzeno e a ocorrência de leucemia, Glass et al. (2005) apontaram para o sentido contrário. Este estudo avaliou um grupo de 79 homens pertencentes ao grupo Health Watch, composto por 18.000 pessoas empregadas por mais de cinco anos na indústria petrolífera australiana.

O grupo menor foi selecionado de acordo com os seguintes critérios:

² HAYES, R.B. et al. 1997. Benzene and the dose-related incidence of hematologic neoplasms in China. **Journal of the National Cancer Institute**, Bethesda, v. 89, n.14, p.1065-1071. 1997.

³ YIN S.N. et al. A cohort study of cancer among benzene-exposed workers in China: Overall results. **American Journal of Industrial Medicine**, v.29, n.3, p.227-235. Mar. 1996a.

⁴ YIN S.N. et al. An expanded cohort study of cancer among benzene exposed workers in China. **Environmental Health Perspectives**, v.104, n.6, p.1339-1341. Dez. 1996b

- primeiro diagnóstico de câncer linfo-hematopoiético após a entrada no grupo Health Watch;
- diagnóstico confirmado por exame patológico, registro de câncer, atestado médico ou atestado de óbito; e
- relato de câncer ao Health Watch pelo próprio indivíduo ou pela família, exceto em caso de falecimento.

Ao contrário de diversos estudos que sugeriam a ausência de aumento de riscos de leucemia para exposições cumulativas de benzeno inferiores a 200 ppm-anos⁵ ou intensidades menores que 20-60 ppm, este estudo verificou o aumento do risco para exposições cumulativas maiores que 16 ppm-anos e intensidade de exposição maior que 0,8 ppm.

Diversas pesquisas indicam que o risco da ocorrência de leucemia é mais fortemente relacionado à exposição do benzeno nos últimos 10 anos. Não foi verificada relação entre a leucemia e a exposição ao benzeno interrompida há mais de 20 anos (FINKELSTEIN, 2000).

O órgão ambiental norte-americano (USEPA) classificou, juntamente com o IARC e o Departamento de Serviços Humanos e de Saúde, o benzeno como uma substância conhecida carcinogênica, com base em evidências em humanos, mostrando uma relação causal entre o câncer e a exposição a esta substância, e em estudos em animais. Deste modo, a USEPA classifica o benzeno como carcinogênico para todas as vias de exposição, com base na evidência epidemiológica de aumento do risco de leucemia mielóide aguda. Com base em Rinsky et al. (1981⁶ apud ATSDR, 2005; 1989), a USEPA determinou uma faixa de valores de risco para inalação. Para taxas de risco entre 1×10^{-4} e 1×10^{-7} , as concentrações de benzeno para uma exposição durante uma vida variam de 4 a 14 ppb e de 0,004 a 0,014ppb, respectivamente (ATSDR, 2005).

⁵ Este valor é obtido multiplicando-se a intensidade da exposição pelo tempo de carreira de um indivíduo.

⁶ Rinsky, R.A., Young R.J., Smith A.B. Leukemia in benzene workers. **American Journal of Industrial Medicine**, v.2, p.217-245. 1981.

O benzeno pertence a uma categoria seleta formada pelos produtos químicos que possuem fatores de risco para câncer (*cancer slope factor*) obtidos a partir de dados de seres humanos. O *cancer slope factor* pode ser definido como a probabilidade de que uma resposta carcinogênica ocorra para a exposição a uma determinada dose de um produto químico, ao longo de 70 anos, ou seja, uma vida (BUDINSKY et al., 1999).

4.3.3 Indicador biológico de exposição

De acordo com a Portaria nº34, de 20 de dezembro de 2001 (BRASIL, 2001), o indicador biológico de exposição caracteriza-se como:

substância química, elemento químico, atividade enzimática ou constituintes do organismo cuja concentração (ou atividade) em fluido biológico (sangue, urina, ar exalado) ou em tecidos, possui relação com a exposição ambiental a determinado agente tóxico (BRASIL, 2001).

Para um adequado monitoramento biológico do indivíduo exposto a um determinado agente é fundamental o conhecimento do metabolismo desta substância. O metabolismo do benzeno envolve, principalmente, a hidroxilação, formando fenol e pequenas quantidades de catecol e hidroquinona. Outros metabólitos que, juntamente com os já citados, são encontrados na urina são o ácido fenil mercaptúrico e o ácido trans,trans-mucônico. Dentre estes metabólitos, a hidroquinona é capaz de reagir com o DNA, podendo induzir aneuploidia (alteração no número de cromossomos caracterizada por um exemplar extra ou inexistente) em linfócitos humanos ou quebrar a fita de DNA. O trans,trans-muconaldeído, um precursor do ácido trans,trans-mucônico, tem se mostrado altamente mielotóxico. Por outro lado, o fenol e o catecol apresentam baixa toxicidade (ONG, 1999).

Os mais estudados indicadores de exposição para o benzeno atualmente são os ácidos trans,trans-mucônico e fenil mercaptúrico urinários e o benzeno inalterado no ar exalado, na urina e no sangue. Por ser coletado por meio de um processo não invasivo, por sua capacidade de avaliar exposição ocupacional a baixas concentrações de benzeno no ar e pela fácil determinação analítica, o ácido

trans,trans-mucônico urinário (AttM-U) é recomendado como indicador biológico de exposição ao benzeno pela Comissão Nacional Permanente do Benzeno (BRASIL, 2001).

4.4 Legislação

A legislação referente ao benzeno foi dividida em três tópicos: limites na composição de produtos acabados, saúde e meio ambiente.

4.4.1 Limites na composição de produtos acabados

De acordo com o inciso I do artigo 1º da Portaria Interministerial nº 775, de 28 de abril de 2004, do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) e Ministério da Saúde, é admitido um percentual de benzeno não superior a 1% em volume nos combustíveis derivados de petróleo (BRASIL, 2004a).

4.4.2 Saúde

Desde 1982 o benzeno é considerado um composto carcinogênico humano pela Agência Internacional de Pesquisa sobre Câncer (International Agency for Research on Cancer – IARC) e pela Conferência Americana de Higienistas Industriais Governamentais – American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ROMA-TORRES, et al. 2006).

Em 1980, a Suprema Corte norte-americana exigiu que o OSHA – Administração de Segurança e Saúde Ocupacional (Occupational Safety and Health Administration) – demonstrasse a ocorrência de risco significativo de dano à saúde a determinado nível de exposição ao benzeno. Isso influenciou a definição de padrões de exposição baseados na relação exposição-resposta (RINSKY, 1989).

Atualmente, o limite de exposição, para jornadas de 8 horas, é definido pelo OSHA como sendo 1 ppm (CAPLETON; LEVY, 2005).

No Brasil, nos anos de 1980, denúncias por parte de sindicatos evidenciaram a “epidemia do benzenismo”, trazendo à tona casos de manifestação dos efeitos da exposição ao benzeno em indústrias metalúrgicas, siderúrgicas, petroquímicas, indústrias químicas, refinarias de petróleo e usinas produtoras de álcool anidro. As denúncias resultaram em mais de três mil afastamentos (FUNDACENTRO, 2005).

Como resposta à pressão da sociedade, em 1993 foi criada a “Norma Técnica sobre Intoxicação ao Benzeno”, pelo Instituto Nacional do Seguro Social, com o objetivo de orientar os serviços de perícia médica deste órgão (FUNDACENTRO, 2005).

No ano seguinte, o MTE publicou a Portaria nº 3, reconhecendo o benzeno como substância cancerígena e proibindo a exposição humana a este produto, sendo permitida a sua utilização somente em sistemas herméticos (FUNDACENTRO, 2005).

Em 1995, uma comissão tripartite formada por representantes do governo, dos trabalhadores e dos empregadores entregou ao MTE o Acordo sobre Benzeno, de 28/09/1995, a Portaria nº14, de 20 de dezembro de 1995, publicada pela Secretaria de Segurança e Saúde no Trabalho e duas instruções normativas: a primeira sobre a avaliação das concentrações de benzeno em ambientes de trabalho, e a segunda sobre a vigilância da saúde dos trabalhadores na prevenção da exposição ocupacional ao benzeno. Dentre estes documentos, cabe destacar a Portaria nº14 que estabelece, por meio do Anexo 13-A, o qual passa a integrar a Norma Regulamentadora nº15, o conceito de Valor de Referência Tecnológico (VRT):

- concentração de benzeno no ar considerada exequível do ponto de vista técnico, definido em processo de negociação tripartite. Deve ser considerado para os programas de melhoria contínua das condições do ambiente de trabalho. O cumprimento do VRT é obrigatório e **NÃO EXCLUI RISCO À SAÚDE** (FUNDACENTRO, 2005, p.12).

Esta legislação define também o Valor de Referência Tecnológico – Média no Tempo Ponderada (VRT-MTP) – como sendo a “concentração média, ponderada

pelo tempo e obtida na zona respiratória, para uma jornada de 8 horas” (FUNDACENTRO, 2005, p.13).

As empresas que produzem, transportam, armazenam, utilizam ou manipulam benzeno e suas misturas líquidas contendo 1% ou mais de volume ficam obrigadas a apresentar o Programa de Prevenção da Exposição Ocupacional ao Benzeno – PPEOB. O programa deve incluir a avaliação das concentrações de benzeno, ações de vigilância à saúde dos trabalhadores, a adequação da proteção respiratória⁷, procedimentos de prevenção da exposição ocupacional ao benzeno, medidas de proteção coletiva ou individual dos trabalhadores como organização do trabalho, sinalização apropriada, isolamento de área, treinamento específico, ventilação apropriada e proteção para evitar contato com a pele (FUNDACENTRO, 2005).

Determina-se, finalmente, o valor de 2,5 ppm como VRT-MTP para usinas siderúrgicas e 1 ppm para as outras empresas abrangidas pelo acordo, o que exclui as empresas que fazem o armazenamento, transporte, distribuição, venda e uso de combustíveis derivados de petróleo. Sugere-se, no entanto, que estas empresas estabeleçam regulamentação própria (FUNDACENTRO, 2005).

As empresas da área de investigação e remediação ambiental realizam atividades que incluem a manipulação de misturas líquidas podendo conter até 1% de benzeno, já que esta é a concentração máxima permitida na gasolina. Portanto pode-se considerar como 1 ppm o VRT-MTP para estas empresas.

Em decorrência do acordo e legislação sobre benzeno, algumas ações foram tomadas, como a proibição do uso de benzeno na produção do álcool anidro (1998) e o estabelecimento, em 2001, do ácido trans,trans-mucônico urinário como indicador biológico de exposição ao benzeno (FUNDACENTRO, 2005).

Finalmente, em abril de 2004 o Ministério da Saúde, por meio da Portaria nº776, instituiu as “Normas de Vigilância à Saúde dos Trabalhadores Expostos ao Benzeno”, definindo como campo de aplicação todas “as empresas e respectivas contratadas que produzem, utilizam, transportam, armazenam e manipulam benzeno

⁷ De acordo com a Instrução Normativa nº1, de 11 de abril de 1994, da Secretaria de Segurança e Saúde no Trabalho, a proteção respiratória deve ser adotada quando as medidas de proteção coletiva não forem suficientes para controlar os riscos existentes.

ou suas misturas líquidas”, ou seja, esta portaria não exclui as empresas que atuam na remediação de áreas contaminadas com benzeno, já que não foi definida uma concentração mínima nas misturas manipuladas.

As normas incluem diretrizes para o diagnóstico e tratamento de intoxicação ocupacional pelo benzeno (BRASIL, 2004b). Sugere-se, como medida preventiva, a avaliação quantitativa do benzeno no ar, a avaliação individual da exposição (conforme Instrução Normativa – IN-01, contida no Acordo do Benzeno) e a análise do Índice Biológico de Exposição, como um meio de avaliar e controlar a exposição, com o intuito de reduzi-la ou eliminá-la.

4.4.3 Meio ambiente

Com o objetivo de detectar e prevenir acidentes ou vazamentos de derivados de petróleo, em 29 de novembro de 2000 o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) publicou a Resolução nº 273, determinando que a localização, construção, instalação, modificação, ampliação e operação de postos revendedores, de abastecimento, instalações de sistemas retalhistas e postos flutuantes de combustíveis ficam sujeitas ao prévio licenciamento por parte do órgão ambiental competente.

A Resolução CONAMA foi responsável pelo processo de cadastramento de postos de serviços no Estado de São Paulo, entre outros estados (como o Rio de Janeiro e o Rio Grande do Sul), para o licenciamento ambiental destes estabelecimentos. Como resultado, o número de áreas contaminadas cadastradas no Estado de São Paulo foi de 255, em 2002, para 1822, em novembro de 2006 (CETESB, 2007a).

Em dezembro de 2005, a CETESB publicou uma nova lista de valores orientadores para solo e água subterrânea, em substituição à lista anterior, publicada em outubro de 2001. Os valores orientadores são concentrações de substâncias químicas definidas com o objetivo de avaliar a qualidade do solo ou da água subterrânea, além de serem utilizados como ferramentas para prevenção, controle da contaminação e gestão de áreas contaminadas (CETESB, 2005).

A **tabela 4.1** apresenta os valores orientadores definidos para o benzeno. Nota-se que o valor estabelecido para a água subterrânea equivale ao limite de potabilidade definido pela Portaria 518 do Ministério da Saúde, de 26 de março de 2004 (CETESB, 2005).

Tabela 4.1 Valores Orientadores para o Benzeno no Estado de São Paulo

Solo (mg.kg ⁻¹ de peso seco)				Água subterrânea (µg.L ⁻¹)
Prevenção	Intervenção			Intervenção
	Agrícola	Residencial	Industrial	
0,03	0,06	0,08	0,15	5

Fonte: CETESB, 2005

Outros estados adotam como referência os valores estabelecidos pela Lista Holandesa, pela agência ambiental norte-americana, o limite de potabilidade ou os valores orientadores definidos pela CETESB.

4.5 Exposição ocupacional ao benzeno

Um estudo realizado por Paxton et al. (1994a⁸, 1994b⁹ apud WHO, 2000) com os dados dos trabalhadores da indústria de pliofilm estima que em um grupo de mil trabalhadores expostos a 1 ppm de benzeno durante 40 anos, há um aumento do risco de câncer de 0,26 a 1,3.

Já de acordo com Infante (2001), para um grupo de 1000 trabalhadores expostos a 1 ppm de benzeno, durante uma vida, há uma probabilidade de 10 mortes adicionais por leucemia.

Este valor (1 ppm) equivale à concentração de benzeno permitida pela legislação brasileira em ambientes de trabalho (BRASIL, 2004b).

A concentração de benzeno foi apontada por Kirkeleit et al. (2006) como um fator relevante à exposição ocupacional de trabalhadores de uma plataforma de petróleo.

⁸ PAXTON, M.B. et al. Leukaemia risk associated with benzene exposure in the pliofilm cohort: I. Mortality update and exposure distribution. **Risk Analysis**, v.14, p.147-154, 1994.

⁹ PAXTON, M.B. et al. Leukaemia risk associated with benzene exposure in the pliofilm cohort: II. Mortality update and exposure distribution. **Risk Analysis**, v.14, p.155-161, 1994.

O óleo extraído neste campo tem em sua composição 0,52% (massa) de benzeno. Este estudo envolveu a comparação entre a exposição de trabalhadores ao benzeno durante a execução de quatro diferentes grupos de tarefas, a saber:

- limpeza manual de tanques contendo petróleo ou resíduos de petróleo;
- manutenção em tanques já limpos;
- execução de tarefas em locais próximos a sistemas abertos de transporte de hidrocarbonetos; e
- tarefas nas quais a exposição a hidrocarbonetos não é esperada.

Como resultado, verificou-se que a tarefa que correspondia aos maiores níveis de exposição ao benzeno foi a limpeza de tanques, com média geométrica de 4,42 ppm.

4.5.1 Casos estudados em postos de combustíveis

Um estudo realizado na Espanha (PERIAGO; ZAMBUDIO; PRADO, 1997) avaliou a exposição de 21 frentistas de seis postos de serviços aos principais contaminantes presentes na gasolina (benzeno, tolueno e xilenos). As amostragens ocorreram em duas épocas do ano diferentes: em março e em julho e foram registrados os volumes de venda de cada período em que as amostragens foram realizadas. Este último dado pode ter grande influência no resultado já que com o enchimento do tanque com um determinado volume de gasolina, uma corrente de ar saturado com gasolina, de volume semelhante, será liberada ao ambiente.

Para a quantificação da concentração de benzeno, xilenos e tolueno no ar, foram utilizados monitores por difusão para vapores orgânicos 3M, modelo 3500.

O resultado desta pesquisa indicou que 20% da população monitorada na estação mais quente (julho) estava exposta a concentrações de benzeno superiores ao TWA (*time weighted average* ou média ponderada no tempo) de $960\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0,3ppm), valor proposto pela Conferência Norte-Americana de Higienistas Industriais – ACGIH (*American Conference of Governmental Industrial Hygienists*).

Adicionalmente, observou-se uma relação direta entre o volume de gasolina vendida no período da amostragem e a concentração de compostos aromáticos no ar, tanto na estação mais quente quanto no inverno. Normalizando os resultados obtidos pela divisão das concentrações pelo volume de gasolina vendida no período, foi possível notar a influência das condições climáticas no risco de exposição dos trabalhadores.

Lynge et al. (1997) apresentam uma avaliação de exposição de frentistas e incidência de câncer, por meio de 20 anos de monitoramento de 19.000 funcionários de postos de gasolina nos países nórdicos (Finlândia, Noruega, Suécia e Dinamarca). Os frentistas foram identificados por meio do censo realizado nestes países no ano de 1970 e acompanhados por um período de 15 a 20 anos.

Estes indivíduos foram expostos a concentrações de benzeno de $0,5\text{mg}/\text{m}^3$ a $1\text{mg}/\text{m}^3$ (0,16 a 0,31 ppm). Esta faixa de concentrações foi considerada com base nos dados disponíveis de médias ponderadas no tempo (para intervalos de oito horas) da exposição de benzeno por frentistas nos países nórdicos. Neste estudo, foi verificada a manutenção das taxas de incidência de leucemia, especificamente para leucemia mielóide aguda. No entanto, houve aumento da incidência de câncer nos rins, na laringe, faringe e pulmões (LYNGE et al., 1997).

Verma et al. (2001) levantaram dados de exposição ocupacional na indústria do petróleo, incluindo postos de combustíveis e áreas em remediação. Este trabalho indicou exposição a concentração média (geométrica) de 0,02 a 0,08 ppm para atendentes de lojas de conveniência em postos de serviços. Cada uma das médias foi obtida pela avaliação de 50 funcionários. Esperam-se, portanto, valores mais elevados na execução de tarefas de remediação.

4.5.2 O benzenismo no Brasil

A Portaria nº776 define o benzenismo como “Conjunto de sinais, sintomas e complicações decorrentes da exposição aguda ou crônica ao hidrocarboneto aromático, benzeno. As complicações podem ser agudas, quando houver exposição a altas concentrações com presença de sinais e sintomas neurológicos, ou crônicas,

com sinais ou sintomas clínicos diversos, podendo ocorrer complicações em médio ou longo prazo, localizadas principalmente no sistema hematopoético” (BRASIL, 2004b, p.2).

O maior registro de casos de benzenismo no Brasil resultou da organização de trabalhadores na Baixada Santista. Entre 1983 e 1995, mais de mil trabalhadores na área de siderurgia no Município de Cubatão foram afastados do trabalho como consequência de alterações hematológicas decorrentes da exposição ocupacional ao benzeno (AUGUSTO; NOVAES, 1999).

Posteriormente, outros pólos industriais tiveram casos de benzenismo revelados, como Volta Redonda-RJ, Camaçari-BA, Vale do Aço-MG e Vitória-ES (AUGUSTO, 2005).

Não foram encontrados, na literatura, casos de benzenismo diagnosticados em trabalhadores de remediação ambiental.

4.5.3 Precauções e práticas seguras

Com o objetivo de identificar questões relevantes ao estabelecimento de valores de referência de exposição ocupacional, Ong (1999) destaca hábitos que podem aumentar a susceptibilidade de um indivíduo a determinado agente químico.

O hábito de comer imediatamente após a jornada de trabalho foi avaliado em um grupo de trabalhadores asiáticos que entravam em contato com chumbo, com a agravante do costume local do uso das mãos para comer, ao invés de talheres. Esta prática resultou, conforme o estudo, na ingestão de substâncias tóxicas.

Os níveis de benzeno no sangue e urina e ácido trans,trans-mucônico na urina de fumantes evidenciam a influência deste hábito nos parâmetros monitorados e devem ser levados em conta durante o monitoramento biológico de exposição ocupacional ao benzeno (ONG, 1999). Além disso, o hábito de fumar pode aumentar a exposição a agentes químicos em decorrência do maior contato das mãos com a boca,

conforme verificado em estudo com trabalhadores na remediação de uma área contaminada com óleo de creosoto (ELOVAARA et al., 2005).

O estudo de Ong (1999) também menciona a possibilidade de redução da resistência de um trabalhador a substâncias tóxicas em virtude da má nutrição.

Finalmente, deve-se ressaltar que o clima quente dificulta a persuasão de trabalhadores a adotarem equipamentos de proteção individual como respiradores. Estudos farmacológicos também indicam que a altas temperaturas, há um aumento na susceptibilidade e na taxa de reação da maioria das drogas. (ONG, 2005)

Com relação às atividades específicas de remediação, o corpo de engenheiros do exército norte-americano, *US Army Corps of Engineers* (USACE, 2003), realizou um levantamento acerca dos riscos e meios de controle de segurança e saúde para estas atividades, divididas pela técnica de remediação escolhida. A **tabela 4.2** apresenta um sumário das atividades relacionadas aos sistemas de remediação mais utilizados no estado de São Paulo (conforme item 4.2.4), riscos e medidas de controle, as quais podem ser relacionadas ao benzeno ou produtos que contenham esta substância em sua composição.

Tabela 4.2 Atividades de remediação, riscos e medidas de controle

ATIVIDADE	RISCO	DESCRIÇÃO	MEDIDAS DE CONTROLE PARA REDUÇÃO DE EXPOSIÇÃO
poços de monitoramento e extração	contaminação	exposição a VOC no solo ou água contaminados trazidos à superfície durante perfuração do poço, ou amostragem de solo ou água subterrânea. Pode ocorrer também a exposição à fase livre de combustível, caso haja. Nesta etapa pode haver contato dermal, inalação ou ingestão.	Uso de EPI selecionado por profissional qualificado; Diálogos de Saúde e Segurança frequentes; Projetar métodos de instalação apropriadamente; Conduzir amostragens de ar individuais ou de área quando a exposição tiver o potencial de ultrapassar a metade do limite máximo permitido ou quando as concentrações de combustíveis excederem 1/10 do limite inferior de explosividade (LEL). Usar proteção respiratória adequada se os controles utilizados forem insuficientes para manter a exposição inferior ao limite máximo permitido.
	liberação de produtos químicos	Exposição a produtos químicos pela ruptura de tubulação ou tanque durante perfuração.	Treinar trabalhadores sobre riscos de perfurações próximas a tubulações ou instalações subterrâneas; Identificar a locação destas instalações.
Extração de vapores do solo	Exposição a VOC ⁽¹⁾	Durante a instalação de poços, operação e manutenção do sistema, trabalhadores podem estar expostos a emissões de VOC provenientes da remoção de gases ou de vazamentos por contato dermal ou inalação.	Aplicar água na área para prevenir emissão de VOC; Certificar-se de que há ventilação apropriada durante instalação e operação do sistema; Usar EPI adequados; Checar constantemente se há vazamentos no sistema e repará-los imediatamente; Projetar chaminés suficientemente altas para dispersar o gás extraído.
		Trabalhadores podem ficar expostos a VOC liberados na saída do exaustor.	Instalar sistema de controle na saída do exaustor, como filtro de carvão ativado; Monitorar periodicamente a eficiência do sistema de tratamento instalado.
Extração Bifásica ou Bioslurping ⁽²⁾	Contato com fase líquida extraída	Tubulação pressurizada pode vazar e líquido pode espirrar nos trabalhadores. Como consequência, tem-se o contato por inalação, ingestão ou dérmico.	Inspecões, testes e manutenção regulares para prevenir ou minimizar vazamentos e a exposição resultante destes; Instalar alarmes para alertar trabalhadores a altas pressões; Treinar trabalhadores sobre o perigo da exposição aos líquidos extraídos e os métodos de prevenção.
	Exposição decorrente do sistema de remediação implantado	Durante a operação do sistema, trabalhadores podem se expor aos contaminantes extraídos.	Utilizar proteção respiratória adequada.
Recuperação de fase livre	Descarga de vapores	Vapores provenientes de separadores de água e óleo podem expor trabalhadores a contaminantes a VOC via inalação.	A descarga de vapores do separador água/óleo deve ser feita acima e longe da zona de respiração.
	Exposição química	A tubulação para a coleta, transferência, tratamento e armazenagem do produto recuperado pode vazar e criar um caminho de exposição para contato dermal, por ingestão ou inalação aos trabalhadores durante atividades de operação e manutenção do sistema.	Prevenir e detectar vazamentos por meio de inspeção e manutenção regulares; Utilizar EPI apropriado para exposição a produtos em fase livre como gasolina.
	Exposição a contaminantes	Durante a instalação de trincheiras e poços, trabalhadores podem se expor a contaminantes presentes no solo ou água.	Molhar a área de instalação do poço ou trincheira para evitar a volatilização de VOC; Analisar tarefas e potencial exposição para definir EPI e proteção respiratória adequada.
Durante a operação de sistemas de remoção de fase livre, trabalhadores podem ficar expostos a substâncias químicas.		Utilizar proteção respiratória para controlar exposição por inalação de VOC durante atividades de remoção de fase livre.	

(1) Compostos Orgânicos Voláteis

(2) Extração Bifásica: Uso de bomba de vácuo para extrair simultaneamente água, fase livre não aquosa (NAPL) e vapor do solo. A técnica de Bioslurping difere da Extração Bifásica pela adição da biorremediação, por meio de reinjeção da água extraída enriquecida com oxigênio e nutrientes. Ambos são exemplos de sistemas de Extração Multifásica.

Tabela 4.2 Atividades de remediação, riscos e medidas de controle (continuação)

ATIVIDADE	RISCO	DESCRIÇÃO	MEDIDAS DE CONTROLE PARA REDUÇÃO DE EXPOSIÇÃO
Tratamento de fase líquida por adsorção em carvão ativado	liberação de produtos químicos	Trabalhadores podem ficar expostos a produtos químicos pela corrosão de tubulação ou tanques de aço carbono pelo carvão ativado, ou quando for utilizado outro material incompatível com o produto extraído.	Não utilizar aço carbono para conter o carvão ativado (utilizar aço inoxidável, termoplástico ou outro material inerte); Utilizar tinta anti-corrosão no interior dos tanques; Instalar alarmes ou instrumentos para detecção de derramamentos ou vazamentos; Treinar trabalhadores sobre riscos químicos e prevenção.
	Obstrução de linha.	O líquido extraído pelo sistema pode conter sólidos, causar a obstrução de linha e o aumento da pressão, acarretando em vazamentos.	Utilizar controles de fluxo e pressão; Utilizar filtros para remover partículas sólidas antes da passagem pelo tratamento com carvão ativado; Implementar uma rotina de inspeções no sistema em operação.
	Vazamento de tanques ou tambores	Tanques ou tambores de armazenagem de carvão ativado podem vazar ou derramar, ocasionando exposição dos trabalhadores durante carregamento ou descarregamento de carvão.	Tanques ou tambores com carvão ativado devem ficar posicionados em bacias de contenção; Treinar trabalhadores no manuseio de carvão ativado e no risco associados à exposição ao carvão usado.
	Equipamentos de transferência de fase líquida	Bombas, tubulações, válvulas e instrumentação podem ser corroídos pelo contato com líquidos contaminados, causando estragos ou vazamentos.	Utilizar equipamentos, tubulações e válvulas de materiais compatíveis com o contaminante do local; Utilizar contenção nos locais onde vazamentos são prováveis; Instalar instrumentos de detecção de vazamentos ou derrames; Implementar uma rotina de inspeções no sistema em operação.
	Colmatação do leito de carvão ativado	Pode ocorrer crescimento biológico no leito de carvão ativado, o que pode ocasionar o entupimento de poros e o aumento da pressão, causando vazamentos e exposição a contaminantes.	Desenvolver e implementar controle de qualidade para otimizar a performance do leito de carvão ativado; Utilizar biocidas periodicamente (inclusive em retrolavagens); Substituir carvão usado por novo quando necessário.
Tratamento de fase vapor por adsorção em carvão ativado	Exposição a VOC	Com a saturação do carvão ativado ou sob altas temperaturas, a eficiência do carvão diminui e os trabalhadores podem ficar expostos ao VOC liberado na saída do sistema.	Monitorar VOC na saída do sistema e desligá-lo se a concentração exceder determinado valor; Utilizar proteção respiratória adequada; Substituir carvão periodicamente; Treinar trabalhadores com relação ao risco de exposição e meios de controle.
	Corrosão de tubulação ou válvulas	Trabalhadores podem ficar expostos a produtos químicos pela corrosão de tubulação ou tanques de aço carbono pelo carvão ativado, ou quando for utilizado outro material incompatível com o produto extraído.	Não utilizar aço carbono para conter o carvão ativado (utilizar aço inoxidável, termoplástico ou outro material inerte); Utilizar tinta anti-corrosão no interior dos tanques; Instalar alarmes ou instrumentos para detecção de derramamentos ou vazamentos; Treinar trabalhadores sobre riscos químicos e prevenção.
	Troca de carvão	Durante a substituição do carvão ativado, trabalhadores ficam expostos aos contaminantes adsorvidos neste.	Monitorar a exposição a VOC durante a remoção do carvão usado; Utilizar proteção respiratória adequada.

(1) Compostos Orgânicos Voláteis

(2) Extração Bifásica: Uso de bomba de vácuo para extrair simultaneamente água, fase livre não aquosa (NAPL) e vapor do solo. A técnica de Bioslurping difere da Extração Bifásica pela adição da biorremediação, por meio de reinjeção da água extraída enriquecida com oxigênio e nutrientes. Ambos são exemplos de sistemas de Extração Multifásica.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Estimativa de exposição

Para avaliar o potencial de risco de exposição por trabalhadores de remediação, foram consideradas as fontes da possível exposição ao benzeno destes profissionais, a saber:

- Exposição devido à permanência em área de manipulação de combustíveis; ou
- Exposição em decorrência das atividades de remediação executadas.

Para avaliar o primeiro caso, ou seja, a exposição do trabalhador pelo simples fato de que suas tarefas são executadas em um posto de combustíveis, buscou-se na literatura dados de avaliação das concentrações de benzeno no ar em postos de combustíveis (amostragem ocupacional). A tabela a seguir apresenta alguns valores de exposição obtidos para frentistas ou atendentes de lojas de conveniência de postos de combustíveis.

Tabela 5.1 Exposição de Frentistas ou atendentes de lojas de conveniência em postos de combustíveis

Fonte	Indivíduos observados	Benzeno (ppm)
Periago; Zambudio; Prado, 1997	10 indivíduos – turno da manhã – inverno	0,17(média)
	11 indivíduos – turno da tarde – inverno	0,15 (média)
	11 indivíduos – turno da manhã – verão	0,227 (média)
	10 indivíduos – turno da tarde – verão	0,234 (média)
Lynge et al., 1997	Faixa de concentração considerada pelos autores com base nos dados disponíveis da exposição por frentistas nos países nórdicos nos anos 1970.	0,16 a 0,31
Verma et al., 2001	Concentração média de exposição ao benzeno por atendentes de lojas de conveniência.	0,02 a 0,08

Para avaliar a exposição em decorrência das atividades de remediação executadas, foram utilizados dados obtidos na bibliografia e foram feitos cálculos com base em estudos anteriores.

Glass et al. (2000) estimaram a exposição de trabalhadores na indústria do petróleo calculando concentrações de benzeno a que estes sujeitos estariam expostos durante a execução de determinadas tarefas. Duas dessas tarefas são comparadas com serviços regulares de remediação, assim como uma tarefa descrita por Kirkeleit et al. (2006). A **tabela 5.2** apresenta estas duas tarefas, os valores de exposição obtidos pelos autores e as tarefas de remediação consideradas neste trabalho como semelhantes.

Tabela 5.2 Estimativas de exposição para tarefas específicas

Tarefa descrita	Benzeno (ppm)	Tarefa de remediação (semelhante)
Enchimento de tambores de gasolina.	1,55 a 3,90 (Glass et al., 2000)	Substituição do carvão ativado utilizado para tratamento da água contaminada com gasolina.
Limpeza de caixas separadoras de refinaria de petróleo.	0,12 (Glass et al., 2000)	Limpeza de caixas separadoras de sistemas de remediação.
Limpeza manual de tanques de petróleo ou resíduos	4,42 (Kirkeleit et al., 2006)	

A tarefa de enchimento de tambores de gasolina pode ser comparada com tarefas de grande exposição comuns nos serviços de remediação como, por exemplo, a substituição de carvão ativado utilizado para o tratamento da água contaminada com gasolina. O carvão ativado adsorve os contaminantes dissolvidos na água. No entanto, durante a abertura a abertura do vaso utilizado como filtro e durante a remoção do carvão saturado, a exposição destes contaminantes ao ar pode provocar a volatilização de compostos. Outra forma de exposição durante a troca de carvão pode ocorrer também pela ingestão de partículas sólidas suspensas no ar.

A limpeza de caixas separadoras, por outro lado, pode ser considerada mais uma atividade de grande exposição a contaminantes e por esta razão foi comparada com

atividades similares, como a limpeza de caixas separadoras de refinarias de petróleo ou com a limpeza manual de tanques de petróleo ou resíduos de plataformas.

De fato, a segunda opção acarreta em maior exposição, já que o profissional deve entrar no tanque de petróleo para efetuar a sua limpeza. No entanto, o dado obtido para esta tarefa está associado ao petróleo com concentração de benzeno de 0,52%, quase metade da concentração deste composto na gasolina no Brasil.

Certamente a concentração de benzeno no ar a qual o trabalhador pode se expor depende, no caso da indústria do petróleo, dos cuidados de operação da refinaria, já que uma operação adequada resultaria em poucos derramamentos de óleo e, portanto, a caixa separadora não apresentaria concentrações elevadas. Com relação à remediação, a exposição depende da gravidade da contaminação local. A remediação de água subterrânea contendo altas concentrações de benzeno ou a remoção de gasolina como fase livre significam a presença de benzeno em altas concentrações na caixa separadora.

Este raciocínio pode servir também para a troca de carvão ativado utilizado para tratamento de água ou vapor, para a amostragem de solo ou água subterrânea, implantação do sistema (abertura de valas, instalação de poços, manuseio de resíduos) e outras atividades de operação ou monitoramento do sistema (medição de VOC no ar, exposição decorrente de vazamentos ou manutenção de equipamentos, tubulações, instrumentos, entre outros).

Ainda com relação à comparação entre o resultado obtido por Kirkeleit et al. (2006) ao resultado de Glass et al. (2000), apesar da semelhança entre as tarefas, nota-se que os resultados diferem de tal maneira que o primeiro supera os limites definidos pela legislação, enquanto que o resultado de Glass indica que o uso de medidas de proteção respiratória seria dispensável.

Para que a exposição de um indivíduo seja avaliada, é necessário que cada tarefa de remediação seja analisada, sendo atribuída a ela uma concentração média, o tempo de duração da tarefa e a frequência com que ela é realizada.

Estimativas de exposição foram deduzidas, neste trabalho, utilizando-se os estudos de Kopstein (2006) e de Bianchi e Varney (1997).

Kopstein (2006) utilizou a experiência de Fedoruk, Bronstein e Kerger (2003¹⁰ apud Kopstein, 2006) para estimar a exposição de indivíduos ao benzeno a partir de produtos contendo este composto. Fedoruk, Bronstein e Kerger utilizaram os métodos da EPA e NIOSH para coletar amostras durante um período de mais de uma hora a uma distância de 36 polegadas (91 cm) acima do solvente. Para isso, foi utilizado um produto contendo 58 ppm de benzeno e como resultado foi verificada uma média ponderada no tempo (1 hora) de 0,5 ppm. De acordo com Kopstein, a exposição ao benzeno pode ser obtida multiplicando-se a razão entre a concentração de benzeno de uma solução e a concentração da solução utilizada por Fedoruk, Bronstein e Kerger (58 ppm) pela exposição resultante do experimento descrito (0,5 ppm).

Assim como Kopstein, neste trabalho efetuou-se uma relação entre a exposição de indivíduos ao benzeno e o efluente de sistemas de remediação. Para isso, foi calculada a concentração de benzeno, em ppm, da gasolina pura, contendo 1% de benzeno (vol.) em sua composição. Adicionalmente, calculou-se a concentração, em ppm, de benzeno em uma solução aquosa contendo benzeno em sua solubilidade máxima (0,188%, de acordo com ATSDR, 2005). Os valores de exposição foram estimados por meio da relação estabelecida por Kopstein e são apresentados na **tabela 5.3**.

Tabela 5.3 Estimativas de exposição utilizando experimento de Fedoruk

Produto manipulado	Benzeno (ppm)	Média Ponderada no Tempo (ppm)
Fase livre (gasolina pura)	11.733	101
Água contendo benzeno em solubilidade máxima	18	0,155

A partir dos valores apresentados, verifica-se que a manipulação de fase livre resulta em exposição acima do limite de 1 ppm, definido pela Norma Regulamentadora nº15 (FUNDACENTRO, 2005). No entanto, a manipulação de água contaminada com

¹⁰ FEDORUK, M., BRONSTEIN, R., KERGER, B. Benzene exposure assessment for use of a mineral spirits-based degreaser. **Applied Occupational and Environmental Hygiene**, v.18, p.764-781. 2003.

benzeno, em qualquer concentração inferior à solubilidade deste composto em água subterrânea resulta em exposição inferior ao limite estabelecido.

Deve-se ressaltar, no entanto, que a experiência de Fedoruk consistiu na amostragem de ar a uma distância de 91 cm da solução de benzeno. Contudo, durante as atividades de remediação, em geral a distância entre o produto manipulado e a zona de respiração do indivíduo são inferiores a este valor.

Bianchi e Varney (1997) efetuaram uma análise dos processos de volatilização em plantas de tratamento para estimar a exposição a compostos orgânicos voláteis.

Este estudo utilizou a constante de Henry para calcular as concentrações de equilíbrio teóricas na água relativas às concentrações medidas no ar. Os resultados foram comparados com as concentrações reais de contaminantes na água para verificar se havia um fluxo do contaminante no sentido da água para o ar ou do ar para a água. As amostras de ar foram coletadas a uma distância de $2,0 \pm 0,5$ m da superfície da água.

De modo análogo, neste trabalho calculou-se a concentração de benzeno na água que equivaleria a uma concentração no ar de 1 ppm. Considerando a constante de Henry de 0,12 e a equação:

$$C_w = C_a H^1$$

onde C_a e C_w são a concentração de benzeno no ar e na água no equilíbrio, respectivamente, e H é a constante de Henry adimensional. Como resultado, obteve-se uma concentração de benzeno na água igual a 8,3 ppm. Este valor, ao contrário do resultado obtido a partir do trabalho de Kopstein (2006), indica que mesmo água contendo benzeno dissolvido e sem a presença de fase livre pode resultar em exposição maior que o limite ocupacional de 1 ppm, definido pela legislação.

Comparando os dois estudos, deve-se levar em consideração que o estudo de Kopstein (2006) considera uma solução de concentração de benzeno variável, enquanto que Bianchi e Varney (1997) avaliam uma condição de equilíbrio. No entanto, o segundo cálculo é teórico e despreza a influência do vento, o que poderia reduzir significativamente a concentração no ar. Deste modo, pode-se considerar que a concentração no ar a que um indivíduo está exposto durante o manuseio de

uma solução de concentração conhecida de benzeno varia entre os resultados dos dois cálculos, sendo o cálculo de Kopstein (2006) menos conservador e o cálculo teórico, com base na lei de Henry, mais conservador.

5.2 Observação de trabalhos de campo

Nos dias 24 e 26 de julho de 2007, com a autorização de uma consultoria ambiental, foram observados os trabalhos de campo de dois de seus técnicos da área de remediação de postos de combustíveis em funcionamento localizados na região metropolitana de São Paulo. Os detalhes dos locais avaliados são apresentados na **tabela 5.4**.

As observações foram feitas em quatro postos de combustíveis, durante a execução de serviços de remediação pelos técnicos da empresa. Os serviços incluíram desde trabalhos de manutenção de sistema de remediação, sem nenhum contato com compostos contaminantes, até o monitoramento da água subterrânea, com a coleta de amostras e medição de parâmetros *in-situ*.

Tabela 5.4 Informações referentes aos locais de trabalho avaliados

Local	Contaminante	Fase livre?	Espessura máxima (cm)
Posto de Combustíveis 1	Gasolina	Não	Fase livre não detectada
Posto de Combustíveis 2	Gasolina	Sim	0,5 (película)
Posto de Combustíveis 3	Gasolina	Não	Fase livre não detectada
Posto de Combustíveis 4	Gasolina	Não	Fase livre não detectada

As atividades observadas foram descritas na **tabela 5.5**, a qual inclui também os cuidados tomados, EPIs utilizados e situações que evidenciaram falta de cuidado, ou alta exposição a contaminantes.

Em seguida, são discutidas algumas tarefas específicas observadas em campo juntamente com os riscos de exposição a elas associados.

Tabela 5.5 Observações em campo de atividades de remediação em postos de combustíveis

Local	Atividade	Técnico observado / Data	EPI utilizados	Cuidados tomados	Observação
Posto de Serviços 1	Conexão de tubulação para encaminhamento da água subterrânea proveniente de poços de extração para o sistema de remediação	A 24/07/2007	Uniforme da empresa e bota de couro com biqueira de aço.	Nenhum cuidado específico já que não houve contato com contaminante.	Durante a tarefa não houve contato com a água subterrânea contaminada. O trabalho foi realizado fora da área de abastecimento ou armazenagem do estabelecimento. Posto em reforma (porém em funcionamento).
Posto de Serviços 2	Monitoramento do nível d'água e presença de fase livre de combustível nos poços de monitoramento com uso de medidor interface	A 24/07/2007	Uniforme, bota de couro com biqueira de aço, luvas de PVC.	Troca de luvas a cada poço.	Técnico aproximou o nariz do sensor de nível para verificar o tipo de contaminante e confirmar a presença de fase livre.
Posto de Serviços 3	Amostragem de água subterrânea (desenvolvimento dos poços, monitoramento de parâmetros físico-químicos <i>in-situ</i> e coleta de água)	A 26/07/2007	Uniforme, bota de couro e biqueira de aço e luvas de PVC.	Troca de luvas a cada poço.	Técnico fumou (na área externa ao posto de serviços) algumas vezes durante o dia.
		B 26/07/2007	Luvas de PVC.	Troca de luvas a cada poço.	Técnico aproximou o coletor de amostras (<i>bailer</i>) do nariz para sentir odor da água subterrânea coletada.
Posto de Serviços 4	Monitoramento do nível d'água e presença de fase livre de combustível nos poços de monitoramento com uso de medidor interface	A 26/07/2007	Uniforme, bota de couro e biqueira de aço e luvas de PVC.	Troca de luvas a cada poço.	-
		B 26/07/2007	Luvas de PVC.	Troca de luvas a cada poço.	-

Durante a realização de medidas ou coleta da água subterrânea a partir de poços de monitoramento foi possível verificar situações de exposição. Esta tarefa é iniciada pela abertura do poço que, estando contaminado, contém vapores de contaminantes a uma pressão maior que a atmosférica. Com a remoção do cap (tampa interna), uma corrente de voláteis migra para uma zona de menor pressão, podendo resultar na inalação destes vapores pelo técnico. A exposição pode ser mais intensa nas situações descritas a seguir e ilustradas pelas **figuras 5.1 e 5.2**.

Na **figura 5.1** o técnico realiza medições em um poço de monitoramento localizado ao lado da canaleta perimetral do posto de combustíveis. Como esta tarefa exige que o técnico se aproxime do poço, há risco de inalação de compostos voláteis provenientes do combustível drenado por meio da canaleta. Por outro lado, a figura ilustra também o cuidado do técnico para evitar o contato dérmico com o uso de luvas de PVC.

O momento da amostragem (**figura 5.2**), por sua vez, exige que o técnico aproxime o frasco da zona de respiração, para possibilitar que o frasco seja completamente cheio com a água coletada, eliminando todo o ar.

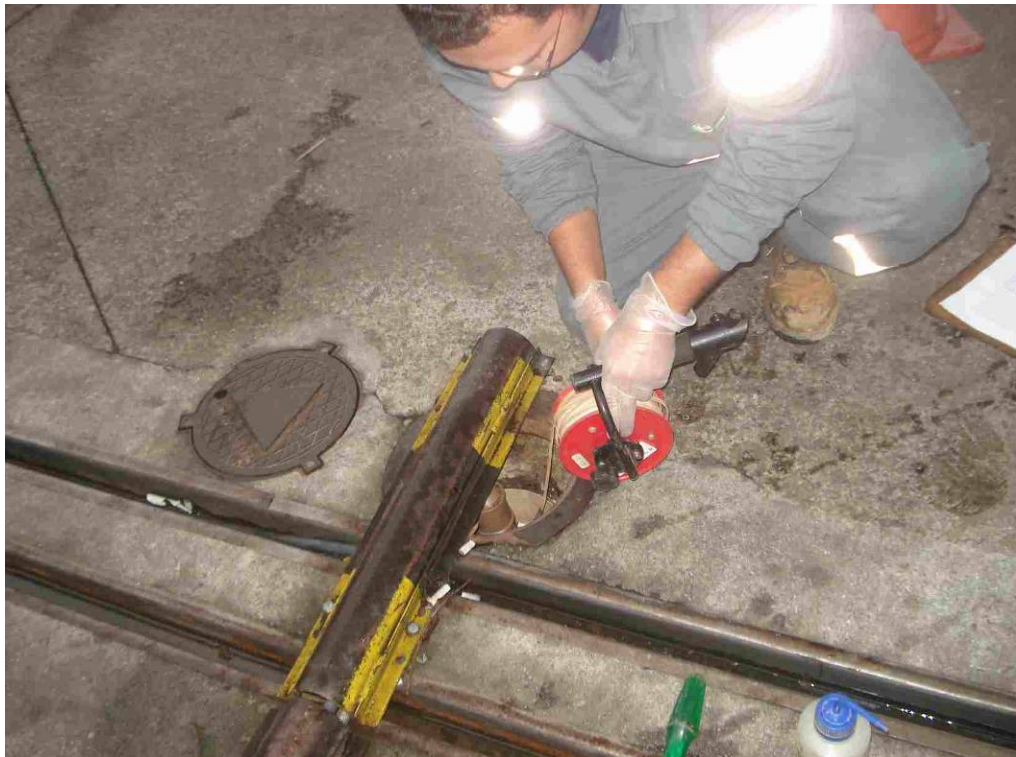


Figura 5.1 Monitoramento de poço próximo à canaleta perimetral



Figura 5.2 Amostragem de águas subterrâneas

A operação de sistemas de remediação inclui serviços de manutenção e monitoramento de equipamentos, tubulações ou instrumentos localizados dentro do *container* que abriga este sistema (**figura 5.3**). No acompanhamento dos serviços de campo, foi constatado forte odor de combustível dentro dos *containers* (postos 2, 3 e 4), o que indica a ocorrência de inalação de contaminantes por parte dos trabalhadores durante o tempo que permanecem no local. A existência de vazamentos nos tanques ou tubulações do sistema pode agravar este quadro.

O local de trabalho dos técnicos de remediação em questão, no caso os postos de combustíveis, constitui um dado relevante na avaliação da exposição destes indivíduos. Em uma compilação de dados de exposição na indústria do petróleo, Verma et al. (2001) apresentam uma média geométrica de exposição ao benzeno de 0,02 ppm obtida pela amostragem de 1478 frentistas. A concentração máxima de benzeno verificada ultrapassou 10 ppm, valor dez vezes superior ao limite permitido pela legislação brasileira.



Figura 5.3 Monitoramento do sistema de remediação

A **figura 5.4** apresenta a execução de um serviço de remediação em um poço de monitoramento localizado próximo à área de abastecimento. Ao mesmo tempo em que o técnico realiza o desenvolvimento¹¹ do poço, o frentista abastece o veículo. O vapor resultante do abastecimento pode ser inalado pelo técnico de remediação.

Devem ser considerados também os derramamentos de combustível na pista de abastecimento.

É possível que a limpeza de caixas separadoras seja a tarefa de maior exposição para o técnico de remediação. Este equipamento é responsável por separar a água e o produto (óleo diesel, gasolina) extraídos pelo sistema de remediação, de modo que a presença de contaminantes é inevitável (**figura 5.5**).

Periodicamente o técnico deve realizar a limpeza da caixa separadora, o que envolve a remoção de todo o óleo e sólidos e a drenagem da água. Isso significa uma maior exposição aos contaminantes por sua alta concentração no equipamento.

¹¹O desenvolvimento de um poço consiste na remoção da água parada de modo que a amostra coletada seja representativa do aquífero.



Figura 5.4 Desenvolvimento de poço próximo à área de abastecimento



Figura 5.5 Exposição aos contaminantes durante a limpeza de caixas separadoras

Os dois técnicos avaliados, em alguma etapa do serviço, aproximaram o nariz do equipamento utilizado ou da água subterrânea, com o objetivo de diferenciar o combustível contaminante (óleo diesel ou gasolina). Esta prática, apesar de não mais recomendada e não mais exigida pelas empresas, era comum e pode ser evidenciada por uma Ficha de Amostragem de Água utilizada por uma consultoria de remediação, apresentada na **figura 5.6**, contendo uma coluna para a descrição do odor pelo técnico de campo.

FICHA DE AMOSTRAGEM DE ÁGUA								
				Responsável pelo Esgotamento			Equipamen	
				Responsável pela Amostragem				
Hora	pH	Cond.	ORP.	OD.	Temp.	Cor	Odor	

Figura 5.6 Imagem de ficha de amostragem de água

5.3 Resultados dos questionários

Em anexo, encontra-se o questionário aplicado sobre os cuidados tomados para a redução do contato com substâncias perigosas e o conhecimento dos trabalhadores da área de remediação acerca dos efeitos do benzeno à saúde.

Os questionários foram respondidos por dez funcionários de uma empresa de consultoria ambiental. As respostas estão apresentadas na **tabela 5.6** e a compilação dos resultados pode ser visualizada na **figura 5.7**.

Tabela 5.6 Respostas dos questionários

NÚMERO DO QUESTIONÁRIO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1a. Cargo	estagiário	engenheiro	estagiário	técnico ambiental II	operador de sistemas	engenheiro	estagiário	técnico ambiental II	geólogo	técnico ambiental I
1b. Sexo	fem	masc	masc	masc	masc	masc	fem	masc	masc	masc
1c. Fumante?	não	não	não	sim	não	não	sim	não	não	sim
2. Grau de instrução	curso técnico	superior completo	superior em curso	superior completo	1º grau incompl	superior completo	superior em curso	curso técnico	superior completo	curso técnico
3. Tempo na área	1 mês	8 anos 9 meses	3 anos e 6 meses	3 meses	4 anos	3 anos	4 meses	4 anos 9 meses	4 anos	4 anos 7 meses
4. Frequência com que executa atividades de campo	menos que 1 vez por semana	2 a 3 vezes por semana	1 vez por semana	4 ou mais vezes por semana	4 ou mais vezes por semana	menos que 1 vez por semana	2 a 3 vezes por semana	4 ou mais vezes por semana	2 a 3 vezes por semana	4 ou mais vezes por semana
5. Uso de luvas de PVC no monitoramento de poços	sempre	sempre	sempre	quase sempre	sempre	sempre	quase sempre	sempre	sempre	sempre
6. Uso de máscaras no monitoramento de poços	nunca	raramente	raramente	nunca	nunca	raramente	nunca	raramente	raramente	raramente
7. Uso de luvas na limpeza de caixas separadoras	outro (não executa tarefa)	sempre	sempre	sempre	sempre	sempre	sempre	sempre	outro (não executa tarefa)	sempre
8. Uso de máscaras na limpeza de caixas separadoras	outro (não executa tarefa)	sempre	raramente	nunca	sempre	raramente	raramente	sempre	outro (não executa tarefa)	quase sempre
9. Identificação do contaminante pelo odor exalado do interface	sempre	raramente	raramente	raramente	sempre	raramente	raramente	nunca	nunca	nunca
10. Identificação do contaminante pelo odor exalado da água coletada com bailer	nunca	nunca	raramente	nunca	sempre	raramente	raramente	nunca	nunca	quase sempre
11. O benzeno é prejudicial à saúde quando:	todas anteriores	todas anteriores	todas anteriores	todas anteriores	todas anteriores	todas anteriores	todas anteriores	contato com pele ou inalado	todas anteriores	todas anteriores
12. A afirmação de que benzeno causa câncer é:	correta p/ homens e animais	correta p/ homens e animais	correta p/ homens e animais	correta p/ homens e animais	correta p/ homens e animais	correta p/ homens e animais	correta p/ homens e animais	correta p/ homens e animais	correta p/ animais.	correta p/ homens e animais

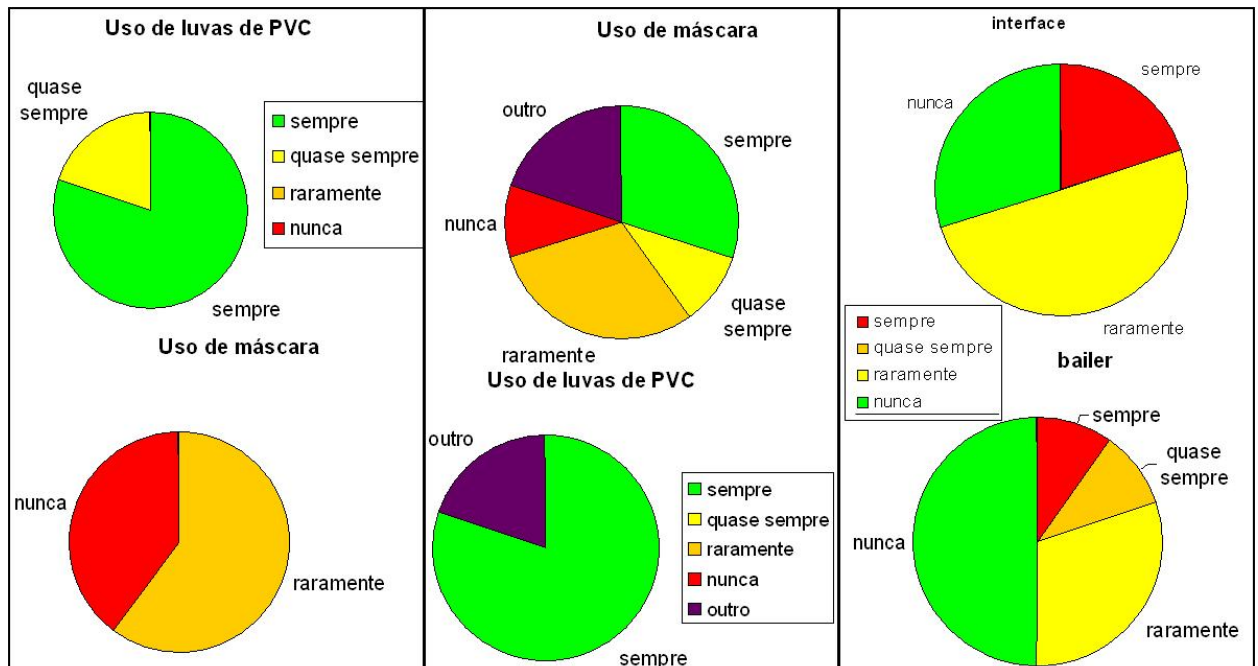


Figura 5.7 Compilação dos resultados

Dentre os entrevistados, foram observados graus de instrução diversificados, desde o 1º grau incompleto até grau superior completo. O tempo de trabalho dos profissionais na área variou de um mês até quase 9 anos. Do grupo de dez pessoas, três são fumantes e oito são homens. Sete entrevistados executam atividades de campo duas ou mais vezes por semana.

De acordo com as respostas do questionário, todos os entrevistados possuem conhecimento de que o benzeno é prejudicial à saúde quando inalado. Apenas um indivíduo não possuía o conhecimento de que o benzeno é prejudicial quando ingerido. Novamente, apenas uma pessoa desconhecia que o benzeno é comprovadamente cancerígeno para homens.

Conforme a **figura 5.7**, observa-se que algumas práticas de segurança são comuns, como o uso de luvas de PVC. Durante o monitoramento dos poços, todos os entrevistados afirmaram utilizar luvas sempre ou quase sempre e durante a limpeza de caixas separadoras, todos os entrevistados que executam esta tarefa afirmaram utilizar luvas de PVC sempre.

Por outro lado, houve maior diversificação nas demais respostas, indicando que o uso de proteção respiratória (máscara facial) ou a adoção de comportamento seguro, como evitar a inalação de água contaminada com combustível, varia mesmo entre um grupo de trabalhadores de uma única empresa.

Nenhum entrevistado afirmou utilizar máscara quase sempre ou sempre durante o monitoramento de poços. Já durante a limpeza de caixas separadoras, a máscara é utilizada sempre por três pessoas e quase sempre por uma.

A identificação do contaminante pelo odor é feita por duas pessoas, sempre ou quase sempre, durante o monitoramento com *bailer* ou *interface*. Uma destas pessoas realiza atividades de campo quatro ou mais vezes por semana, ou seja, estas práticas de risco podem ser realizadas todos os dias, expondo regularmente este indivíduo a concentrações de substâncias cancerígenas.

Foram realizadas tentativas de relacionar a adoção de práticas de segurança ao grau de instrução, ao tempo de trabalho na área e à frequência dos trabalhos de campo. No entanto, não foi verificada nenhuma relação entre o comportamento seguro e estas variáveis.

Apesar do uso regular de luvas de PVC pelos entrevistados, os questionários indicaram que estes profissionais estão frequentemente expostos a substâncias contaminantes, seja por não utilizarem proteção respiratória, ou pela adoção de comportamento não seguro. Pela falta de dados específicos acerca da exposição de trabalhadores ao benzeno durante a execução de atividades de remediação, mostra-se necessária a criação de procedimentos para a minimização da exposição, a realização de treinamentos e a fiscalização dos trabalhos de campo.

5.4 Diretrizes para execução de serviços de remediação

De acordo com as observações de campo, a bibliografia consultada e os questionários, nota-se que os serviços de remediação resultam no risco de contaminação de trabalhadores com o benzeno por meio de duas vias: a inalação e o contato dérmico.

É função das empresas, de acordo com a Portaria nº776 do Ministério da Saúde, reduzir a concentração de benzeno no ar para o limite de 1 ppm (exceto no caso das usinas siderúrgicas, para as quais o limite é de 2,5 ppm). No entanto, a natureza dos serviços de remediação pode resultar na exposição de trabalhadores a valores maiores que os permitidos por lei. Para estes casos, o uso de proteção respiratória é exigido.

O Instituto Norte-Americano de Saúde e Segurança Ocupacional (NIOSH, 2007) define o tipo de proteção respiratória para faixas de concentração de benzeno. Para níveis de até 10 ppm, é requerido o uso de máscaras semifaciais com filtros químicos para vapores orgânicos. Exposições de até 50 ppm exigem peças faciais inteiras. Já para concentrações de até 100 ppm deve-se utilizar respiradores energizados, contendo um soprador de ar e filtros para vapores orgânicos. Acima desta concentração, passa-se a ser exigido o ar comprimido.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1996) dispõe de normas regulamentadoras acerca dos equipamentos de proteção respiratória. A norma NBR 13694, por exemplo, determina as condições mínimas exigíveis para as peças semifaciais e um quarto faciais. São apresentados testes para averiguar a aplicabilidade destes equipamentos ao uso pretendido. No entanto, a norma não indica quando deve ser utilizada a máscara semifacial, a peça inteira ou um quarto facial.

Por outro lado, a norma NBR 13696 (ABNT, 2005) regulamenta os filtros químicos e os divide em classes de acordo com as concentrações máximas de aplicação. São definidos, portanto, os filtros de baixa capacidade (até 50 ppm), os filtros de classe 1 (até 1000ppm), classe 2 (10.000 ppm) e classe 3 (até 100.000 ppm). Alerta-se, contudo, que a concentração máxima de uso não deve exceder o IPVS (concentração imediatamente perigosa à vida ou à saúde). Para o caso do benzeno, o IPVS é igual a 500 ppm, de acordo com NIOSH (2007).

A luva de procedimento, de acordo com os questionários e com as observações das tarefas de campo, é usada regularmente pelos trabalhadores da área de remediação. Este EPI é regulamentado pela norma NBR 13392 (ABNT, 2004), a qual estabelece procedimentos para a execução de testes de resistência,

microbiológicos, ensaios de hermeticidade, entre outros. O ensaio de hermeticidade tem como objetivo averiguar se o ar pode atravessar a luva. Portanto pode-se dizer que este EPI atua como uma barreira física ao contato com o benzeno. Cabe lembrar, contudo, que o material da luva de látex ou mesmo a luva nitrílica de 4 mm oferece, de acordo com Brown III (2002), virtualmente nenhuma resistência a solventes.

Por este motivo, é fundamental que o trabalhador evite o contato direto com água subterrânea ou combustível, mesmo usando luvas de procedimento. Ainda, durante a realização de tarefas nas quais o contato com contaminantes não pode ser evitado, Brown III (2002) sugere o uso de luvas de *Viton*, as quais oferecem boa proteção contra compostos aromáticos, como o benzeno.

Estas luvas são fornecidas por lojas especializadas em equipamentos de proteção individual, pelo preço de R\$778,00 o par, de acordo com a empresa I.C. Leal Ltda. Este valor, quando comparado ao preço de luvas de procedimento descartáveis, vendidas geralmente em caixas de 100 unidades por aproximadamente R\$10,00, pode justificar a escolha das luvas de procedimento: mais baratas e descartáveis. No entanto, deve-se considerar a luva de *Viton* como uma proteção mais adequada para tarefas de maior contato com combustíveis, como a limpeza de caixas separadoras de água e óleo.

Para que as tarefas de manutenção dos sistemas de remediação sejam realizadas em ambiente salubre, cuidados devem ser tomados para evitar vazamentos que possam aumentar a concentração de compostos voláteis no ar. Sistemas de ventilação dentro dos *containers* também podem ser úteis para que as concentrações sejam reduzidas. O controle da concentração de voláteis por medições freqüentes pode ser uma ferramenta de verificação da necessidade de manutenção corretiva.

Um papel importante da empresa é o de executar treinamentos alertando para os riscos à saúde causados pelo benzeno. Apesar de saberem que o benzeno é cancerígeno, os trabalhadores da empresa entrevistada relataram práticas não seguras. É possível que esta atitude seja conseqüência da não compreensão de que

o contato constante com substâncias carcinogênicas, mesmo em baixas concentrações, pode resultar em prejuízo à saúde.

A fiscalização por parte da empresa é mais uma ferramenta para a certificação de que seus funcionários estão adotando comportamento seguro, até que as práticas de segurança sejam assimiladas.

Por outro lado, é papel do funcionário atender às normas de segurança da empresa, utilizar os equipamentos de proteção individual fornecidos e exigir da empresa a adoção de medidas adicionais caso necessário, como a compra de equipamentos de proteção mais adequados ou até mesmo a realização de exames de indicadores biológicos de exposição.

Finalmente, o governo detém uma importante tarefa no que diz respeito à fiscalização do cumprimento das leis que visam a proteção da saúde do trabalhador, exigindo das empresas procedimentos para a avaliação das concentrações de benzeno dos ambientes de trabalho e realização de exames médicos periódicos que contemplem parâmetros indicadores da exposição ao benzeno. Tais procedimentos podem gerar dados reais sobre a contaminação ocupacional por benzeno, permitindo uma melhor avaliação do impacto de determinada atividade, ou do manuseio de determinado produto para a saúde humana e ainda alimentando bancos de dados para posteriores pesquisas por universidades ou empresas.

Para todas as partes interessadas, governo, empresas e funcionários, sugere-se a adoção de políticas conservadoras de proteção à saúde durante a execução de serviços de remediação.

Um resumo das diretrizes é apresentado na tabela a seguir.

Tabela 5.7 Diretrizes para a redução da exposição ao benzeno

EMPRESAS	PROFISSIONAIS	ORGANIZAÇÕES REGULAMENTADORAS / GOVERNO
<ul style="list-style-type: none"> • Garantir concentração de benzeno (ar) abaixo de 1 ppm. • Não induzir funcionário a executar atividades que aumentem o risco de contaminação (ex. odor). • Fornecer EPIs apropriados em quantidade suficiente e estimular seu uso. • Proteção respiratória • Luvas adequadas (luvas de Viton / luvas de procedimento) para a tarefa. • Esclarecer em palestras (DDS) os riscos da exposição ao benzeno. • Controle da concentração de voláteis nos <i>containers</i> de remediação. • Fiscalização dos trabalhos de campo. • Informar (dados de literatura / concentrações da área). • Realizar exames periódicos incluindo a análise do ácido trans, trans-mucônico. • Efetuar exame médico criterioso. 	<ul style="list-style-type: none"> • Evitar fazer intervalos para fumar. Antes de fumar, lavar bem as mãos. • Cuidados na manutenção dos sistemas para evitar vazamentos. • Seguir normas da empresa, utilizar EPIs fornecidos. • Exigir da empresa medidas adicionais quando necessário. • Utilizar máscara para vapores orgânicos durante a limpeza de caixas separadoras e troca de carvão ativado, entre outras tarefas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fiscalização do cumprimento de leis. • Exigir das empresas: <ul style="list-style-type: none"> ○ Avaliação das concentrações de benzeno em ambientes de trabalho; ○ Realização de exames periódicos que contemplem indicadores da exposição ao benzeno. • Definir EPIs adequados para diferentes tipos e graus de exposição.
<p>Adoção de políticas conservadoras de proteção à saúde na execução de serviços de remediação.</p>		

6 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- não foram encontrados estudos específicos de avaliação da exposição a contaminantes durante a execução de atividades de remediação em postos de combustíveis;
- a inexistência de níveis seguros de exposição ao benzeno e o fato de que os técnicos de remediação realizam atividades em áreas contaminadas, apontam para a necessidade de controle da exposição deste grupo;
- a partir de estudos apresentados neste trabalho, foram calculados valores estimados para a concentração de benzeno no ar durante o manuseio de fase livre de gasolina ou de água contendo benzeno dissolvido. Os cálculos resultaram em concentrações de benzeno no ar em valor superior ao limite definido pelo Ministério do Trabalho e Emprego, indicando a necessidade de uso de equipamentos de proteção individual durante tarefas que exijam o contato com soluções contendo benzeno, inclusive o uso de proteção respiratória no manuseio de fase livre de gasolina;
- apesar da legislação brasileira sugerir a avaliação quantitativa do benzeno no ar como forma de avaliação e controle da exposição ocupacional, não foram encontrados dados desta avaliação, tampouco indícios de que haja fiscalização de tal prática pelo Ministério do Trabalho e Emprego;
- o uso de equipamentos de proteção individual pelos técnicos de remediação demonstra a compreensão destes trabalhadores acerca da necessidade de proteção. O fato de trabalharem para a descontaminação do meio ambiente também poderia indicar sua consciência em relação ao risco de contato com as substâncias perigosas presentes na área. Mesmo assim, foram observadas práticas como a inalação do odor proveniente da água subterrânea, denotando a falta de preocupação deste indivíduo com a própria saúde;

- não foi possível relacionar o comportamento dos trabalhadores entrevistados com variáveis como tempo de trabalho na área, frequência de execução de atividades de campo ou grau de instrução, indicando que a adoção de práticas seguras deste grupo é resultado de uma atitude individual. Os questionários também indicaram que a luva de procedimentos (luva de PVC) é utilizada frequentemente (sempre ou quase sempre) por todos os entrevistados;
- ainda com relação às luvas de procedimentos, verificou-se que as de látex ou nitrílicas de espessura de 4 mm quase não impedem o contato com produtos químicos. Para atividades nas quais o contato não pode evitado, como a limpeza de caixas separadoras de água e óleo, são sugeridas as luvas de *Viton*; e
- não foram encontradas regulamentações acerca do tipo de proteção respiratória necessária para os diferentes níveis de concentração de benzeno. É definido, no entanto, o nível de benzeno (500 ppm) acima do qual não é permitida a exposição, mesmo com o uso de máscaras faciais.

A minimização da exposição de trabalhadores da área de remediação ao benzeno depende da ação conjunta de funcionários, empresas e órgãos regulamentadores ou governo, no sentido de melhorar a fiscalização de atividades executadas em postos de combustíveis, conscientizar trabalhadores da necessidade de uso de equipamentos de proteção individual, exigir atitudes de empresas e do governo que visem a proteção do trabalhador e prosseguir com estudos de avaliação do risco da exposição ao benzeno durante a execução de tarefas de descontaminação de solo e água subterrânea nos postos de serviços.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13392:** luvas para procedimentos não-cirúrgicos - especificação. ABNT, 31 ago. 2004. 17p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13694:** equipamentos de proteção respiratória – peças semifacial e um quarto facial. ABNT, 30 nov. 1996. 23p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13696:** equipamentos de proteção respiratória – filtros químicos e combinados. ABNT, 30 mar. 2005. 16p.

AKSOY, M. Different types of malignancies due to occupational exposure to benzene: a review of recent observations in Turkey. **Environmental Research**, v.23, n.1, p.181-190, 1980.

ANP – AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO. **Consulta geral a homepage oficial.** Disponível em:

<http://www.anp.gov.br/doc/dados_estatisticos/Vendas_de_Combustiveis_m3.xls> Acesso em 27 mai. 2007.

ATSDR – AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. **Toxicological profile for benzene (Draft for public comment).** Atlanta: United States Department of Health and Human Services, Public Health Service, 2005.

AUGUSTO, L.G.S. Teoria e prática na ação do sanitarista: a questão da saúde e do ambiente. **Cadernos Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v.13, n.1, p.9-26, 2005.

AUGUSTO, L.G.S.; NOVAES, T.C.P. Ação médico-social no caso do benzenismo em Cubatão, São Paulo: uma abordagem interdisciplinar. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 4, p. 729-738, 1999.

BIANCHI, A.P.; VARNEY, M.S. Volatilization processes in wastewater treatment plants as a source of potencial exposure to VOCs. **The Annals of Occupational Hygiene**, v. 41, n. 4, p. 437-454, 1997.

BRASIL. Instrução Normativa nº1 de 11 de abril de 1994. Estabelece regulamento técnico sobre o uso de equipamentos para proteção respiratória. Disponível em: < www.fundacentro.gov.br/SES/programadeprotecaorespiratoria.pdf > Acesso em 13 ago. 2007.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Câncer relacionado ao trabalho:** leucemia mielóide aguda – síndrome mielodisplástica decorrente da exposição ao benzeno. Brasília: Editora do Ministério da Saúde, 2006.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº776/GM, de 28 de abril de 2004. Dispõe sobre a regulamentação dos procedimentos relativos à vigilância da saúde dos trabalhadores expostos ao benzeno, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.mte.gov.br/legislacao/portarias/2004/p_20040428_776.pdf> Acesso em 13 ago. 2007b.

BRASIL. Portaria Interministerial nº775, de 28 de abril de 2004. Proíbe a comercialização de produtos acabados que contenham "benzeno" em sua composição, admitindo, porém, alguns percentuais. Disponível em: <http://www.mte.gov.br/legislacao/portarias/2004/p_20040428_775.asp> Acesso em 6 ago. 2007c.

BRASIL. Portaria nº34, de 20 de dezembro de 2001. Protocolo para a utilização de indicador biológico da exposição ocupacional ao benzeno. Disponível em: <http://www.mte.gov.br/legislacao/Portarias/2001/p_20011220_34.asp> Acesso em 20 ago. 2007.

BROWN III, J. Chemical hand protection. **Occupational Health and Safety**, v.71, n.2, p.56-68, fev. 2002.

BUDINSKY, R.A. et al. An evaluation of modeled benzene exposure and dose estimates published in the Chinese-national cancer institute collaborative epidemiology studies. **Regulatory Toxicology and Pharmacology**, v.30, p.244-258, 1999.

CAPLETON, A.C.; LEVY, L.S. An overview of occupational benzene exposures and occupational exposure limits in Europe and North America. **Chemico-Biological Interactions**, v.153, p.43-53, mai. 2005.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Consulta geral a homepage oficial**. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/>> Acesso em 15 jul. 2007a.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Decisão de Diretoria nº103/2007/C/E, de 22 de junho de 2007. Dispõe sobre o procedimento para gerenciamento das áreas contaminadas. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/areas_contaminadas/proced_gerenciamento_ac.pdf> Acesso em 16 ago. 2007b.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Decisão de Diretoria nº195-2005, de 23 de novembro de 2005. Dispõe sobre a aprovação dos valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo – 2005, em substituição aos valores orientadores de 2001, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/relatorios/tabela_valores_2005.pdf> Acesso em 13 ago. 2007a.

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Manual de gerenciamento de áreas contaminadas**. 2.ed. São Paulo: CETESB, 2001.

COHEN, J.T.; BECK, B.D.; RUDEL, R. Life years lost at hazardous waste sites: remediation workers facilities vs. cancer deaths to nearby residents. **Risk Analysis**, v.17, n.4, p.419-425, ago. 1997.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº273, de 29 de novembro de 2000. Dispõe sobre a localização, construção, instalação, modificação, ampliação e operação de postos revendedores, postos de abastecimento, instalações de sistemas retalhistas e postos flutuantes de combustíveis.. Disponível em:

<<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res00/res27300.html>> Acesso em 13 ago. 2007.

ELOVAARA, E.; MIKKOLA, J.; MÄKELÄ, M.; PALDANIUS, B.; PRIHA, E. Assessment of soil remediation workers' exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH): biomonitoring of naphthols, phenanthrols and 1-hydroxypyrene in urine. **Toxicology letters**, v.162, n.2-3, p.158-163, 10 abr. 2006.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. **Consulta geral a homepage oficial**. Disponível em: <<http://www.eea.europa.eu/>> Acesso em 31 mar. 2007.

FETTER, C.W. **Applied hydrogeology**. 4.ed. New Jersey: Prentice Hall, 2001.

FETTER, C.W. **Contaminant hydrogeology**. New York: Macmillan Publishing Company, 1993.

FINKELSTEIN, M.M. Leukemia after exposure to benzene: temporal trends and implications for standards. **American Journal of Industrial Medicine**, v.38, n.1, p.1-7, jun. 2000.

FUNDACENTRO. **Acordo e legislação sobre o benzeno 10 anos**. São Paulo: Fundacentro, 2005.

GIL, A.C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5 ed. São Paulo: Editora Atlas S.A. 206p.

GLASS, D.C. et al. Health Watch exposure estimates: do they underestimate benzene exposure? **Chemico-biological Interactions**, v.153-154, p.23-32, maio 2005.

GLASS, D.C. et al. Retrospective exposure assessment for benzene in Australian Petroleum Industry. **The Annals of Occupational Hygiene**, v.44, n.4, p.301-320, 2000.

INFANTE, P.F. Benzene: an historical perspective on the American and European occupational setting. In: EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. **Late lessons from early warnings: the precautionary principle 1896–2000**. Copenhagen: European Environment Agency, 2001. cap.4.

KIRKELEIT, J. et al. Benzene exposure on a crude oil production vessel. **The Annals of Occupational Hygiene**, v.50, n.2, p.123-129, 2006.

KOPSTEIN, M. Potential uses of petrochemical products can result in significant benzene exposures: MSDSs must list benzene as an ingredient. **Journal of Occupational and Environmental Hygiene**, v.3, n.1, p.1-8, jan. 2006.

LYNGE, E. et al. Risk of cancer and exposure to gasoline vapors. **American Journal of Epidemiology**, v.145, n.5, p.449-458, 1997.

NIOSH – NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH. **Consulta geral a homepage oficial**. Disponível em: <<http://www.cdc.gov/niosh/>> Acesso em 5 dez. 2007.

ONG, C.N. Reference values and action levels of biological monitoring in occupational exposure. **Toxicology Letters**, v.108, p.127-135, 1999.

PERIAGO, J.F.; ZAMBUDIO, A.; PRADO, C. Evaluation of environmental levels of aromatic hydrocarbons in gasoline service stations by gas chromatography. **Journal of Chromatography A**, v.778, p.263-268, 1997.

RINSKY, R.A. Benzene and leukemia: an epidemiologic risk assessment. **Environmental Health Perspectives**, v.82, p.189-191, jul. 1989.

ROMA-TORRES, J. et al. Evaluation of genotoxicity in a group of workers from a petroleum refinery aromatics plant. **Mutation Research**, v.604, n.1-2, p.19-27, abr. 2006.

SCA – SWEDISH CHEMICALS AGENCY. **Consulta geral a homepage oficial**. Disponível em: <<http://www.kemi.se/>> Acesso em 1 abr. 2007.

SCHNATTER, A.R. et al. The relationship between low-level benzene exposure and leukemia in Canadian petroleum distribution workers. **Environmental Health Perspectives**, v.104, n.6, p.1375-1379, dez. 1996.

USACE – US ARMY CORPS OF ENGINEERS. **Safety and health aspects of hazardous, toxic and radioactive waste remediation technologies**. Washington: USACE, ago. 2003.

USEPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Consulta geral a homepage oficial**. Disponível em: <<http://www.epa.gov/>> Acesso em 14 ago. 2007.

VERMA, D.K. et al. Benzene and total hydrocarbons exposures in the downstream petroleum industries. **American Industrial Hygiene Association Journal**, v.62, n.2, p.176-194, mar./abr. 2001.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Air quality guidelines for Europe**. 2.ed. Copenhagen: World Health Organization Regional Publications, 2000.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Benzene in drinking water – background document for development of WHO guidelines for drinking-water quality**. Geneva: World Health Organization, 2003.

YARIS, F.; DIKICI, M.; AKBULUT, T.; YARIS, E.; SABUNCU, H. Story of benzene and leukemia: epidemiologic approach of Muzaffer Aksoy. **Journal of Occupational Health**, v.46, n.3, p.244-247, mai. 2004.

ANEXO

QUESTIONÁRIO

DATA: ____ / ____ / ____

1. **CARGO:** _____ **SEXO:** MAS FEM **FUMANTE?** SIM NÃO
2. **GRAU DE INSTRUÇÃO:**
 1º grau completo 2º grau completo curso técnico superior completo
3. **TEMPO DE TRABALHO NA ÁREA AMBIENTAL:** ____ anos ____ meses
4. **COM QUE FREQUÊNCIA VOCÊ EXECUTA ATIVIDADES DE CAMPO EM ÁREAS QUE ESTÃO SENDO REMEDIADAS?**
 4 ou mais vezes por semana 2 ou 3 vezes por semana 1 vez por semana menos que 1 vez por semana
5. **NO MONITORAMENTO DE POÇOS VOCÊ UTILIZA AS LUVAS DE PVC:**
 sempre
 quase sempre
 raramente
 nunca
 outro. Especificar: _____.
6. **NO MONITORAMENTO DE POÇOS VOCÊ UTILIZA MÁSCARAS:**
 sempre
 quase sempre
 raramente
 nunca
 outro. Especificar: _____.
7. **DURANTE A LIMPEZA DE CAIXAS SEPARADORAS VOCÊ UTILIZA LUVAS (PVC OU NITRÍLICAS)**
 sempre
 quase sempre
 raramente
 nunca
 outro. Especificar: _____.
8. **DURANTE A LIMPEZA DE CAIXAS SEPARADORAS VOCÊ UTILIZA MÁSCARA**
 sempre
 quase sempre
 raramente
 nunca
 outro. Especificar: _____.
9. **NO MONITORAMENTO DE POÇOS VOCÊ IDENTIFICA O CONTAMINANTE PELO ODOR EXALADO DO SENSOR DO INTERFACE?**
 não sim
Se sim, com que frequência?
 sempre
 quase sempre
 raramente
 nunca
 outro. Especificar: _____.
10. **NO MONITORAMENTO DE POÇOS VOCÊ IDENTIFICA O CONTAMINANTE PELO ODOR EXALADO DA ÁGUA COLETADA COM O BAILER?**
 não sim
Se sim, com que frequência?
 sempre
 quase sempre
 raramente
 nunca
 outro. Especificar: _____.
11. **O BENZENO ESTÁ PRESENTE NA GASOLINA E PODE SER PREJUDICIAL À SAÚDE SE:**
 entrar em contato com a pele.
 for inalado.
 for ingerido.
 todas as anteriores.
12. **JÁ FOI COMPROVADO QUE O BENZENO PODE CAUSAR CÂNCER. ESTA AFIRMAÇÃO:**
 está correta, porém somente para animais. Não foi comprovado que o benzeno pode causar câncer nos homens.
 está incorreta, não existem provas de que o benzeno pode causar câncer.
 está incorreta, pois já foi comprovado que o benzeno NÃO causa câncer.
 está correta, para homens e animais.