

1

Introdução

A zona vadosa, ou não saturada, constitui um domínio através do qual a água de recarga deve passar para atingir o nível do lençol freático. Os estudiosos da ciência dos solos foram os pioneiros no entendimento de fluxo na zona não saturada. Posteriormente, voltaram seus estudos para o transporte e o destino de contaminantes (Fetter, 1992).

A hidrologia da zona vadosa é muito diferente da hidrologia da zona saturada devido à presença de ar nos vazios do solo. A proporção de água e ar nos poros varia, influenciando diretamente as propriedades hidráulicas do meio poroso (Fetter, 1992).

Substâncias químicas são transportadas através da zona não saturada dos solos nas fases gasosa, aquosa e líquida não aquosa (NAPL) por advecção, difusão molecular e dispersão mecânica (Halmemies, 2003). O conhecimento dos mecanismos de transporte dos contaminantes é essencial no gerenciamento de resíduos perigosos (Carvalho, 2001).

Muitos dos contaminantes orgânicos se encontram no estado líquido a temperaturas sub-superficiais típicas e possuem baixa solubilidade em água. Na presença de água, se mantêm como uma fase separada, fase líquida não aquosa, NAPLs (*non aqueous phase liquids*) e podem ser classificados de acordo com sua densidade relativa em LNAPLs (*light non aqueous phase liquids*) ou DNAPLs (*dense non aqueous phase liquids*).

De acordo com Bicalho (1997), um dos problemas associados à contaminação por NAPLs é a constituição de fontes lentas e contínuas de contaminação de águas subterrâneas. Produtos livres mais leves do que a água, tais como os hidrocarbonetos de petróleo, tendem a migrar em fluxo descendente através da zona não saturada até que seja atingida uma camada impermeável ou o nível d'água. A partir deste momento, o contaminante migra lateralmente. Em contrapartida, produtos livres mais densos do que a água, entre eles os compostos

clorados, continuam a migrar através do nível d'água e da zona saturada até que seja atingida uma barreira impermeável (Alvarez-Cohen, 1993).

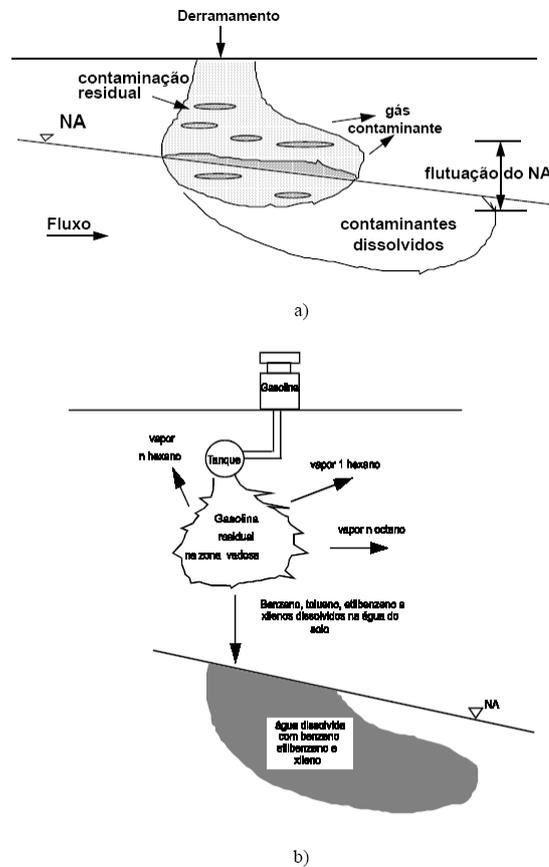


Figura 1.1 - Contaminação por NAPL (*apud* Bicalho, 1997).

A figura 1.1 representa dois casos típicos de contaminação por LNAPL. A figura 1.1.a mostra a formação de NAPL residual na zona saturada por flutuações do nível d'água. A figura 1.1.b ilustra, por sua vez, a formação de uma pluma de contaminantes dissolvidos, mesmo sem que o contaminante atinja o nível d'água como fase livre.

O petróleo é essencialmente uma mistura de hidrocarbonetos sólidos, líquidos e gasosos que ocorre em depósitos de rochas sedimentares. A nível molecular, o petróleo é uma mistura complexa de hidrocarbonetos, resinas e asfaltenos, compostos orgânicos de enxofre, nitrogênio, oxigênio e compostos com constituintes metálicos, em particular, níquel, ferro e cobre. Sua estrutura

química é variável e complexa podendo se alterar de acordo com a natureza do material original e com as condições em que foi formado (EPA, 2000).

Produtos derivados de petróleo constituem algumas das substâncias químicas mais utilizadas na atualidade. Devido à grande demanda por estes produtos, acidentes são quase que inevitáveis (Sarkar et al., 2005).

Derramamentos de hidrocarbonetos de petróleo no solo trazem riscos potenciais à saúde da população, aos recursos hídricos, aos ecossistemas e a outros receptores ambientais. Refinarias e indústrias ligadas ao ramo localizadas em todo o mundo lidam diariamente com problemas decorrentes de vazamentos, derrames e acidentes durante a exploração, refino, transporte e operações de armazenamento do petróleo e de seus derivados (Environment Agency, 2003).

Solos contaminados por petróleo são remediados através de três processos: físico, químico e biológico. Os mais comuns dos métodos de tratamento físicos são a disposição em lixões e a incineração. Porém, além de constituir uma tecnologia muito cara, a incineração pode representar uma fonte de poluição do ar. O tratamento químico, por sua vez, inclui a injeção direta de oxidantes químicos no solo contaminado e/ou nas águas subterrâneas. Já o tratamento biológico envolve o esgotamento da contaminação a partir da transformação em compostos não tóxicos através de processos biológicos e microbiológicos (Sarkar et al., 2005).

Processos como bioventilação, adsorção em carvão ativado, biorreatores e biodegradação têm sido utilizados para remover contaminantes orgânicos de águas subterrâneas e de sistemas de solo superficial. Estes processos podem ser implementados para controlar o movimento de plumas, para remediar águas subterrâneas e/ou descontaminar solos (Corseuil & Marins, 1998).

Muitos microrganismos possuem a habilidade de utilizar hidrocarbonetos como fonte exclusiva de energia para o funcionamento de seu metabolismo (ZoBell, 1946). Quando expostos a soluções minerais em que a reprodução microbiana é possível, petróleo, borracha e outros tipos de hidrocarbonetos podem ser lentamente decompostos por microrganismos. A oxidação dos hidrocarbonetos pode ajudar não só no rápido desaparecimento dos compostos de petróleo como também na deterioração de produtos como a borracha (ZoBell, 1946).

A biorremediação de solos contaminados por hidrocarbonetos de petróleo é uma tecnologia multidisciplinar, baseada na habilidade dos microrganismos de

degradar compostos químicos, que envolve ciências como a microbiologia, a engenharia, a ecologia, a geologia e a química (Evans et al., 2004). Apesar de vir sendo investigada desde a década de 40, o interesse nesta área somente se expandiu quando houve o acidente da Exxon Valdez em 1989 (Sarkar et al., 2005).

O principal objetivo da biorremediação é a biodegradação de xenobióticos em dióxido de carbono e água. A biorremediação apresenta grandes benefícios com relação à disposição em lixões e à incineração, tais como a conversão de compostos tóxicos em compostos não tóxicos, bem como menores custos e riscos reduzidos à saúde e ao meio ambiente, além de ser um tratamento *in situ* que não impacta os ecossistemas nativos (Sarkar et al., 2005).

A biodegradação de hidrocarbonetos de petróleo por microrganismos nativos representa um dos mecanismos primários através dos quais o petróleo e outros poluentes são eliminados do meio ambiente (Leahy & Colwell, 1990).

A utilização microbiana de hidrocarbonetos de petróleo é altamente dependente da natureza química de seus compostos e de parâmetros ambientais (Zobell, 1946).

A determinação quantitativa da importância dos microrganismos no destino de hidrocarbonetos de petróleo é uma tarefa muito complicada, no entanto, as mudanças no contaminante podem ser vistas à luz da capacidade enzimática degradadora dos microrganismos nativos que possuem a habilidade de degradar hidrocarbonetos de petróleo. Fatores ambientais conhecidos por sua influência nas taxas de degradação e nas taxas de crescimento microbiano devem ser examinados no intuito de estimar as limitações da contribuição da biodegradação na remoção de contaminantes derivados de petróleo (Atlas, 1981).

A persistência dos poluentes depende da quantidade e da qualidade da mistura de petróleo e das propriedades do ecossistema impactado. Da mesma maneira que, em um ambiente, os hidrocarbonetos de petróleo podem persistir indefinidamente, sob outras condições, os mesmos hidrocarbonetos podem ser completamente biodegradados em algumas horas ou dias (Atlas, 1981).

O objetivo desta dissertação de mestrado foi estudar a mobilidade de um óleo mineral em solo arenoso artificial e na feição areno-siltosa de um solo residual indeformado. Neste último foram também analisadas a biodegradação do

contaminante e a influência da temperatura na atividade microbiana e na descida do óleo.

A presente dissertação está organizada em cinco capítulos. Este primeiro capítulo consiste na introdução ao trabalho e na apresentação da estrutura dos capítulos subseqüentes.

No segundo capítulo foi feita uma breve revisão bibliográfica dos temas tratados ao longo da pesquisa. Foram abordados os conceitos de maior relevância para o entendimento do comportamento de solos não saturados e dos mecanismos de transporte de contaminantes. No intuito de oferecer um embasamento teórico para a compreensão dos processos envolvidos na biodegradação de hidrocarbonetos de petróleo, foi realizado um estudo mais aprofundado tanto dos fatores bióticos quanto dos fatores abióticos envolvidos na degradação de contaminantes orgânicos.

O terceiro capítulo refere-se aos materiais e métodos utilizados e/ou desenvolvidos para a realização dos ensaios de laboratório. Foram executados ensaios com dois solos, ambos serão descritos neste capítulo.

No capítulo quatro foram apresentados e discutidos os resultados referentes aos ensaios mencionados no capítulo anterior.

O quinto e último capítulo consiste nas conclusões e nas sugestões para trabalhos futuros.