

AVALIAÇÃO DA VARIAÇÃO TEMPORAL DO VOLUME DE FASE LIVRE

Marcio Costa Alberto¹; Daniel Eli de Abreu Torres²; Carlos Alberto Linhares³; Carlos José de Amorim Jr.⁴

Visando o gerenciamento de uma área contaminada, foi feita estimativa do volume de fase livre existente em uma área no Estado de São Paulo, por meio de cubagem do volume, total e recuperável, de fase livre, conforme monitoramentos realizados entre julho e setembro/2012. Para esta modelagem, foi utilizada a ferramenta LDRM v. 1.2 (API, 2007), o qual estima o volume específico (L^3/L^2) de LNAPL total e recuperável, a partir da espessura de fase livre medida nos poços, e da curva de saturação do produto no solo da zona não saturada e saturada. Os resultados mostraram volumes totais entre 576 e 1.183 m^3 de LNAPL, com volume recuperável entre 175 e 367 m^3 , apresentando uma tendência de crescimento temporal do volume de LNAPL, que pode ser reflexo do aumento de disponibilidade de fase livre na estação seca.

Aiming at the management of a contaminated area, estimates were made of the volume of free phase existing in an area in the State of São Paulo, by scaling the volume, total and recoverable, of free phase, from monitoring conducted between July and September/2012. For this modeling, it was used LDRM v. 1.2 (API 2007) tool, which estimates the specific volume (L^3/L^2) of LNAPL, total and recoverable, from the thickness of the free phase measured at the wells, and the saturation curve of the product on the unsaturated and saturated soil zone. The results showed total volumes between 576 and 1,183 m^3 of LNAPL with recoverable volumes between 175 and 367 m^3 , with an upward trend in the volume of LNAPL time, which may reflect the increased availability of free phase in the dry season.

PALAVRAS-CHAVE: trapeamento, áreas contaminadas, modelagem, LNAPL e LDRM

¹ Geólogo, Dr. - ESTRE Ambiental S/A – Av. Nações Unidas, 17891 – São Paulo/SP – marcio.alberto@estre.com.br – Tel. (11) 3198-7800

² Eng. Quím. - ESTRE Ambiental S/A – Av. Nações Unidas, 17891 – São Paulo/SP – daniel.torres@estre.com.br – Tel. (11) 3198-7800

³ Eng. Quím.

⁴ Eng. San. Amb., Ms. - ESTRE Ambiental S/A – Av. Nações Unidas, 17891 – São Paulo/SP – carlos.amorim@estre.com.br – Tel. (11) 3198-7800

1 – INTRODUÇÃO E METODOLOGIA

Visando a estimativa do volume de LNAPL em subsuperfície, para o gerenciamento da remediação de fase livre, em uma área do Estado de São Paulo, foi utilizada a ferramenta LNAPL Distribution and Recovery Model (LDRM), versão 1.2, desenvolvido pela American Petroleum Institute - API (2007).

Este modelo permite estimar o volume específico (L^3/L^2) de LNAPL, total e recuperável, presente no meio poroso, a partir da espessura de fase livre medida nos poços de monitoramento, e das características de curva de saturação do produto ao longo da espessura de solo da zona não saturada e saturada.

Para a realização dos cálculos foram utilizados os dados de 04 monitoramentos de espessura de fase livre em poços de monitoramento, entre os dias 17 de julho a 05 de setembro de 2012. Este período compreende a estação seca do ano, em que a fase livre se encontra mais disponível para migração em subsuperfície.

Os parâmetros densidade e viscosidade da fase livre de óleo diesel foram estabelecidos por ensaio, e os valores de tensão interfacial da fase livre e da água foram adotados de API *Interactive LNAPL Guide*, v. 2.0.4 (2006), e estão apresentados na Tabela 1. Os tipos de solos predominantes na profundidade da seção filtrante dos poços de monitoramento, e seus respectivos parâmetros de van Genuchten, adotados de API (2006), estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 1. Parâmetros de densidade e tensão interfacial da água e diesel.

| Líquido | Densidade à 25°C | Tensão interfacial ar/líquido (mN/m) à 25°C | Tensão interfacial produto/água (mN/m) à 25°C |
|---------|------------------|---|---|
| Água | 1,00 | 71,99 | - |
| Diesel | 0,8973 | 23,80 | 28,93 |

Fonte: Valores de tensão interfacial corrigidos para temperatura ambiente de 25°C, por meio de relação linear.

Tabela 2. Solos predominantes na profundidade dos filtros dos poços de monitoramento, e seus respectivos parâmetros de van Genuchten.

| Tipo de solo | N | α (m^{-1}) | Porosidade | Saturação residual de água | Saturação residual de produto |
|----------------|------|-----------------------|------------|----------------------------|-------------------------------|
| Areia-argilosa | 2,16 | 0,76 | 0,44 | 0,55 | 0,25 |
| Areia-siltosa | 2,02 | 1,81 | 0,41 | 0,36 | 0,23 |
| Arenoso | 2,04 | 1,51 | 0,38 | 0,29 | 0,15 |
| Argila | 1,65 | 0,58 | 0,48 | 0,44 | 0,30 |
| Argilo-arenoso | 1,80 | 3,18 | 0,41 | 0,44 | 0,30 |
| Silte-arenoso | 1,85 | 1,10 | 0,44 | 0,37 | 0,20 |
| Silte-argiloso | 2,33 | 0,9 | 0,42 | 0,44 | 0,30 |

Fonte: API (2006).

As curvas de saturação do solo foram inferidas a partir dos parâmetros de van Genuchten. A litologia da seção filtrante foi definida com base nos perfis dos poços.

O volume de LNAPL foi calculado por meio da integração do mapa de distribuição do volume específico, para cada poço monitorado. Este mapa foi definido pela interpolação de cada volume específico calculado para cada poço com fase livre, adotando-se a metodologia de interpolação que apresentou o menor erro apresentado. Para se obter as integrais unidimensionais, por meio de algoritmos para integração numérica, foi selecionado o algoritmo de Simpson 3/8.

Como condição de contorno para a delimitação do mapa de distribuição de volume específico de LNAPL foi utilizado o critério estabelecido pela CETESB D.D Nº 263/2009/P, em que o ponto-limite da pluma de fase livre é definido pela metade da distância entre um poço de monitoramento onde foi detectada a presença de contaminação e outro poço de monitoramento onde não foi detectada contaminação.

2 - RESULTADOS

Os mapas de distribuição dos volumes específicos totais de produto estão na Figura 1, com os resultados dos volumes de produto oleoso apresentados na Tabela 3, onde os volumes totais estão entre 791 m³ e 1.505 m³, com volume recuperável entre 96 m³ e 203 m³, na ordem de 14% do volume total.

Os resultados apresentam tendência de crescimento temporal do volume de LNAPL, no período avaliado, o que pode estar associado ao aumento de disponibilidade de fase livre na estação seca, em função do rebaixamento do nível d'água. Com o rebaixamento, o produto antes aprisionado nos poros, em fase residual, se tornam disponíveis para migração.

Tabela 3. Volume total e recuperável (m³) de produto oleoso em fase livre.

| Volume de produto oleoso em fase livre | 17/jul/2012 | 08/ago/2012 | 05/set/2012 |
|--|-------------|-------------|-------------|
| Total (m ³) | 790,64 | 1.088,99 | 1.505,01 |
| Recuperável (m ³) | 96,01 | 175,99 | 203,09 |
| Recuperável (%) | 12,14 | 16,16 | 13,49 |

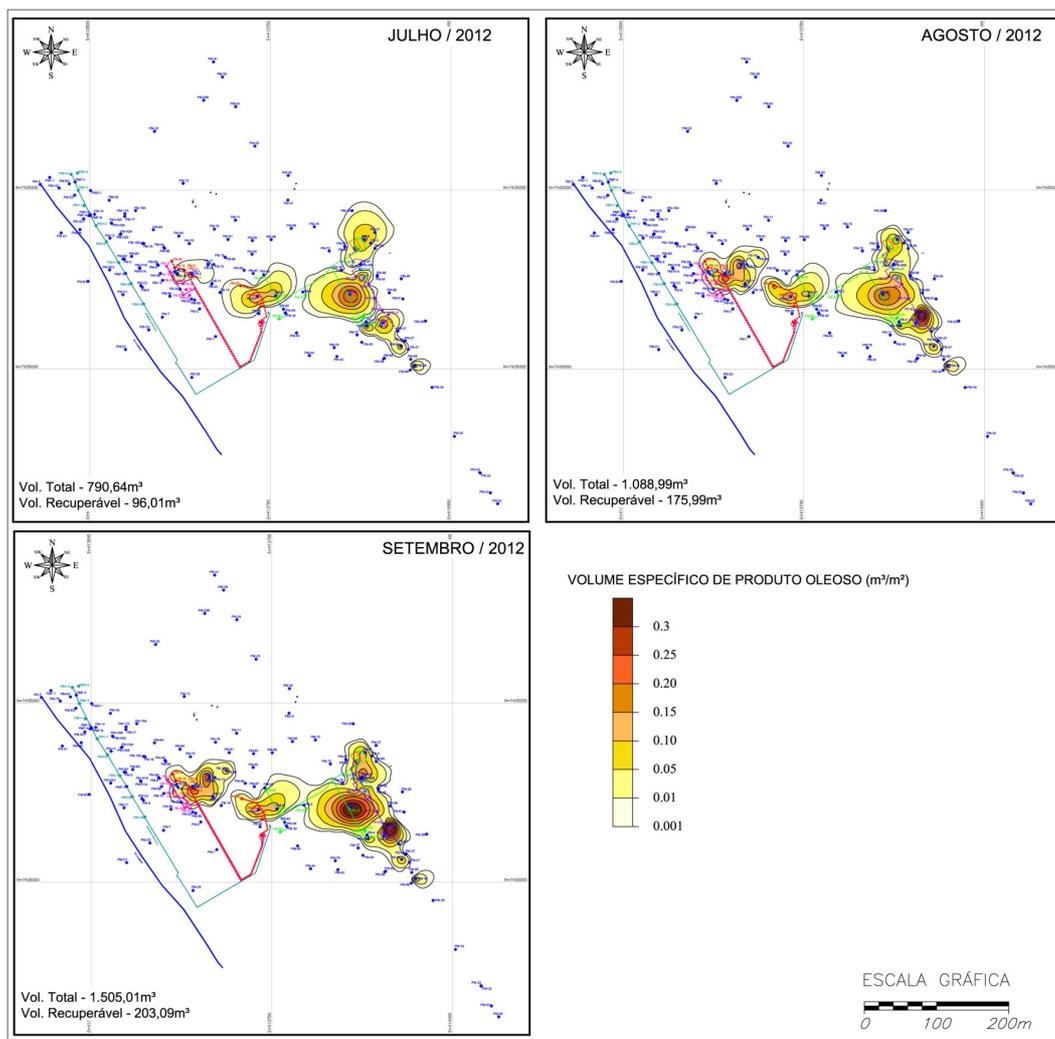


Figura 1. Mapas de distribuição do volume específico de produto oleoso em fase livre

3 - CONSIDERAÇÕES

A variação do volume é condicionada pela variação do nível d'água, ou seja, tornando o produto em fase residual ou móvel, o que torna complexa a definição das metas de remediação, incluindo a definição do tempo necessário para remediação, em função da variação do volume de produto disponível, ou recuperável.

4 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Petroleum Institute. 2006. API Interactive LNAPL Guide V. 2.0.4. Fev/2006.

_____. 2007. LNAPL Distribution and Recovery Model (LDRM). Jan/2007.