



## DELIMITAÇÃO DE ÁREA CONTAMINADA POR HIDROCARBONETOS PROVENIENTES DE ACIDENTES NO MODAL RODOVIÁRIO EM MINAS GERAIS

I.F. SILVA<sup>1</sup>, J. V. D. SILVA<sup>2</sup>, E.A.P DE LIMA<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Uberlândia, Departamento de Engenharia Química

<sup>2</sup> Universidade Federal de Uberlândia, Departamento de Engenharia

Ambiental <sup>3</sup> Professor PPGEQ da Universidade de Uberaba UNIUBE

*RESUMO – O processo industrial continua a utilizar petróleo e seus derivados para as suas plantas industriais, com isso o número de transporte deste produto a cada ano tem aumentado e como consequência o número de acidente com produtos à base de hidrocarboneto vem aumentando trazendo como resultado a contaminação de solo, águas superficiais e águas subterrâneas. O estado de Minas Gerais regulamentou por meio da lei Estadual nº 22.805/2017 medidas relativas a acidentes no transporte de produtos perigosos ou resíduos perigosos com objetivo de reduzir a contaminação utilizando de ações coordenadas de remoção e recuperação das áreas contaminadas de acordo com o tempo de exposição da contaminação ao meio ambiente. Em solos contaminados por petróleo e seus derivados, alguns contaminantes como os compostos de interesse que exigem maior preocupação ambiental, e que normalmente são, os principais a serem identificados e quantificados antes e durante um processo de remediação e destinação, entre eles podem destacar: benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (isômeros: orto-, meta- e para-xileno). Esses compostos, conhecidos também como BTEX, são definidos como hidrocarbonetos monoaromáticos, cujas estruturas moleculares possuem como característica principal a presença do anel benzênico. São usados, principalmente, em solventes e em combustíveis e são os constituintes mais solúveis na fração da gasolina, produto muito transportado juntamente com o diesel devido ao abastecimento da frota veicular. Esses compostos aromáticos são tóxicos tanto ao meio ambiente como ao ser humano, nos quais atuam como depressores do sistema nervoso central e apresentam toxicidade crônica mais significativa que os hidrocarbonetos alifáticos. Os hidrocarbonetos penetram no subsolo e movem-se para baixo por efeito da gravidade e da capilaridade, na sua movimentação deixam uma esteira de produto residual. Os elementos que condicionam a penetração dos hidrocarbonetos no solo são as características dos hidrocarbonetos e do solo. Sendo assim, este trabalho apresenta os principais contaminantes e um método de delimitação de área contaminada em conformidade com a nova legislação de atendimento a emergência no acidente no modal rodoviário do estado de Minas Gerais.*



## 1. INTRODUÇÃO

O mundo continua ainda a utilizar o petróleo e seus derivados para a manutenção de sua atividade industrial. Durante a exploração, o refino, o transporte e as operações de armazenamento do petróleo e/ou de seus derivados podem vir a ocorrer derramamentos acidentais ocasionando a contaminação de solos, rios, etc. (Aislabe et al., 2004; Marín et al., 2006).

O que se tem notado, nas duas últimas décadas, é que a poluição causada por petróleo e seus derivados tem sido um dos principais problemas ao meio ambiente. Quando ocorre o derramamento de gasolina em solos, por exemplo, uma das principais preocupações é a contaminação do solo e as águas subterrâneas, que também podem contaminar, especialmente, os aquíferos que são usados como fontes de abastecimento de água para o consumo humano (Custance et al., 1992).

Os frequentes derramamentos de petróleo e seus derivados registrados em solos brasileiros vêm motivando o desenvolvimento de novas técnicas que visam, principalmente, a descontaminação dessas matrizes. Diante disso, diversas técnicas, físicas, químicas e biológicas, vêm sendo desenvolvidas para a remoção ou a degradação *in-situ* ou *ex-situ* de petróleo derramado e para a redução de seus efeitos sobre o ecossistema, especialmente os tóxicos. (Andrade et al., 2010)

O petróleo é uma mistura complexa que contém vários compostos, sendo que os hidrocarbonetos representam a fração majoritária. De acordo com a sua origem, as suas composições químicas e as suas propriedades físicas variam de um campo petrolífero para outro. Devido, principalmente, à complexidade dessa mistura, normalmente o tratamento de áreas contaminadas por essas substâncias é bastante difícil e problemático. (Andrade et al., 2010)

Em solos contaminados por petróleo e seus derivados, alguns contaminantes se destacam frente aos demais. Neste caso, de forma geral, os compostos de interesse que exigem maior preocupação ambiental e que, normalmente, são os principais a serem identificados e quantificados antes e durante um processo de remediação e destinação final de resíduos, são: benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (isômeros: *orto*-, *meta*- e *para*-xileno). Esses compostos, conhecidos também como BTEX, são definidos como hidrocarbonetos monoaromáticos, cujas estruturas moleculares possuem como característica principal a presença do anel benzênico. São usados, principalmente, em solventes e em combustíveis e são os constituintes mais solúveis na fração da gasolina. (Andrade et al., 2010)

Compostos como os BTEX, constituem em um grande problema, não somente no Brasil, mas em todo o mundo. Esses compostos aromáticos são tóxicos tanto ao meio ambiente como ao ser humano, nos quais atuam como depressores do sistema nervoso central e apresentam toxicidade crônica mais significativa que os hidrocarbonetos alifáticos (também presentes no petróleo e derivados), mesmo em concentrações da ordem de  $\mu\text{g L}^{-1}$  (Watts et al., 2000).

O benzeno é reconhecidamente o composto mais tóxico dentre os BTEX e, por isso, pode ser apontado como o agente mais preocupante no tocante à saúde pública. Segundo a Agência Internacional de Pesquisa de Câncer (*International Agency for Research on Cancer - IARC*), órgão da

---



Organização Mundial da Saúde, o benzeno se classifica no Grupo I, ou seja, é uma substância comprovadamente cancerígena e que também pode causar leucemia em seres humanos.

Assim como a IARC, nos Estados Unidos, a Agência de Saúde e Segurança Ocupacional (*National Institute for Occupational Safety and Health* - NIOSH), bem como a Agência de Proteção Ambiental (*Environmental Protection Agency* - EPA) também incluem o benzeno em suas listas de produtos cancerígenos (EPA, 2003a; IARC, 2006; NIOSH, 2006). Daí a importância considerável em monitorar esses contaminantes em episódios de contaminações.

Em solos contaminados por petróleo e seus derivados, além dos BTEX, geralmente, outras classes de compostos também são alvos de atenção, como os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA), os compostos orgânicos voláteis (COV) totais e os hidrocarbonetos totais de petróleo (HTP). Os compostos BTEX, HPA e HTP são escolhidos, principalmente, pela toxicidade, mobilidade e persistência no meio ambiente; os COV totais, por representarem o total de emissões gasosas, como perdas por volatilização provenientes do derramamento. (NIOSH, 2006)

Assim, qualquer contaminação oriunda dessas fontes merece atenção, não apenas pelo contato direto (como a inalação de vapores) desses compostos indevidamente dispostos no solo, mas também quanto à sua presença em águas utilizadas para o consumo humano.

Objetiva-se neste trabalho apresentar a importância do tempo como fator de remediação e recuperação de área contaminada de acordo com a nova legislação de Minas Gerais para emergências químicas.

## 2. LEGISLAÇÃO AMBIENTAL

Considerando as contaminações de solos por petróleo e seus derivados, caso os compostos orgânicos oriundos dessa contaminação fossem distribuídos em ordem de "toxicidade", "persistência no meio ambiente" e "efeitos carcinogênicos e mutagênicos", os BTEX, HPA e HTP representariam as três classes, sendo que, especialmente por esse motivo, estes compostos têm sido frequentemente objetos de discussões nos órgãos governamentais de fiscalização ambiental (VROM, 1994).

No Brasil, mais especificamente no Estado de São Paulo, os valores orientadores para solos são mostrados na Tabela 1. Neste, os valores descritos para os HPA correspondem à soma das concentrações de dez compostos prioritários selecionados pela CETESB (ver a lista dos compostos no rodapé da Tabela 1). Vale ressaltar que, no Brasil, não existe uma legislação específica para HPA total, bem como para HTP (CETESB, 2005).



Tabela -1 Soma das concentrações de dez composto selecionados pela CETESB: antraceno, benzo(a)antraceno, benzo(k) fluoranteno, benzo(g,h,i)perileno, benzo(a)pireno, criseno, dibenzo(a,h)antraceno, fenantreno, indeno(1,2,3-c,d)pireno e naftaleno.

CONCENTRAÇÃO EM PESO SECO (mg kg <sup>-1</sup> )				
COMPOSTO	Valores de prevenção	Valores de intervenção		
		Agrícola	Residencial	Industrial
BENZENO	0,03	0,06	0,08	0,15
Tolueno	0,14	30	30	75
Etilbenzeno	6,2	35	40	95
Xilenos	0,13	25	30	70
HPA*	12,7	56,6	147,1	384,8
HTP	---	---	---	---

(CETESB, 2005)

No estado de Minas Gerais, foi estabelecido a Lei 22.805 de 2017, que dispõe medidas relativas a acidentes no transporte de produtos perigosos ou resíduos, foi publicado, este importante texto legislativo que irá impactar fortemente na atividade do transporte de produtos perigosos e resíduos perigosos e que, sobretudo, abre um enorme precedente para que outros Estados da União desenvolvam seus textos legislativos no assunto. Principalmente no modal rodoviário o número de acidentes com combustíveis representa 70% dos contaminantes registrado pelo núcleo de emergências ambientais. (NEA,2017)

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Os hidrocarbonetos penetram no subsolo e movem-se para baixo por efeito da gravidade e da capilaridade, na sua movimentação deixam uma esteira de produto residual. Essa quantidade normalmente retida pelo solo é da ordem dos 15 a 40 litros por m<sup>3</sup>, raramente excedendo os 50 lt/m<sup>3</sup>, o que apenas se verifica sob grandes edifícios ou áreas cimentadas ou quando existem rochas muito porosas.

A maior penetração é obtida com óleos de baixa viscosidade e em terrenos de cascalho grosso. Em um solo homogêneo, sem estratificação ou sem variações significativas da distribuição de porosidades, a infiltração tem forma de pêra, sendo a componente vertical devida a gravidade e a componente horizontal devida a capilaridade como mostra a Figura 1.

A medida que o terreno é menos permeável as forças da capilaridade originam um aumento da penetração horizontal, como mostra a Figura 2.



Figura 1 – Solo homogêneo altamente permeável  
(Trading,2015)



Figura 2 – Solo homogêneo menos permeável  
(Trading,2015)

Quando a espessura da camada na superfície é grande, a pressão exercida provoca uma maior penetração dos hidrocarbonetos. No caso de subsolos compostos ou formados por rocha fissurada o comportamento dos hidrocarbonetos já é diferente. Nestes casos os hidrocarbonetos movimentam-se relativamente depressa nas zonas de fissuras, ficando alguma quantidade retida nas respectivas paredes.

Esta progressão vertical pode ser estancada por um dos seguintes modos:

- O aparecimento de uma camada impermeável;
- O aparecimento de um lençol de água;
- O fato de se ter atingido o limiar de “saturação residual” (*residual saturation*), que é a quantidade mínima de que um fluido deve atingir, para se movimentar num meio poroso.

Sendo assim, a máxima profundidade de penetração dos hidrocarbonetos pode ser estimada pela Equação 1:

$$D = \frac{1000 V}{A \times R \times k} \quad \text{Equação -1}$$

Sendo:

D = Profundidade máxima de penetração, em m.



V = Volume do hidrocarboneto infiltrado, em m<sup>3</sup>.

A = Área da infiltração à superfície, em m<sup>2</sup>.

R = Capacidade de retenção do solo, em lt/m<sup>3</sup>.

k = Fator de correção para a viscosidade do hidrocarboneto. k

= 0,5 para hidrocarbonetos pouco viscosos (gasolina, etc.)

k = 1 para querosene, gásóleo e produtos de viscosidade semelhante.

k = 2 para hidrocarbonetos mais viscosos como, por exemplo, o combustível-óleo leve.

k aumenta até infinito com a viscosidade.

Sendo R a capacidade de retenção do solo, em lt/m<sup>3</sup> como mostra a Tabela-2 valores tipo de capacidade de Retenção.

Tabela 2 – Valores e Tipos de Capacidade de Retenção (lt/m<sup>3</sup>)

Solo	R – Capacidade de Retenção (lt/m <sup>3</sup> )
Calhau, Pedrisco grosso	5
Pedrisco grosso, Areia grossa	8
Areia grossa, Areia média	15
Areia média, Areia fina	25
Areia fina, Lodo	40

(Trading,2015)

Os valores de R são para solos porosos com a umidade normal. No caso de solos secos a capacidade de retenção aumenta. Se o solo for formado por camadas de capacidade de retenção diferentes, deve ser utilizado um valor intermediário para R. Em geral, a existência de camadas de características diferentes aumenta a capacidade de retenção. Uma vez que na maior parte dos casos, os solos são irregulares, a capacidade de retenção real é maior do que a obtida teoricamente.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Diretoria de Prevenção e Emergências Ambiental Deamb, tem como finalidade planejar e atuar, de forma integrada e articulada com as demais instituições intervenientes no assunto, na prevenção e resposta aos acidentes e emergências ambientais que coloquem em risco os bens vulneráveis, o meio ambiente e a saúde pública. A Diretoria conta com os Núcleos de Riscos Tecnológicos Ambientais e o de Emergência Ambiental, conforme os artigos 51 e 52 do Decreto 45.824/2011, sendo responsável pela aplicação da Lei 22.805 de 2017. (NEA,2017)

O atendimento emergencial com acidentes, proveniente do modal rodoviário tem o maior



índice registrado pelo Núcleo de Emergência Ambiental. No Gráfico 1 mostra o número de acidentes atendidos em Minas Gerais.

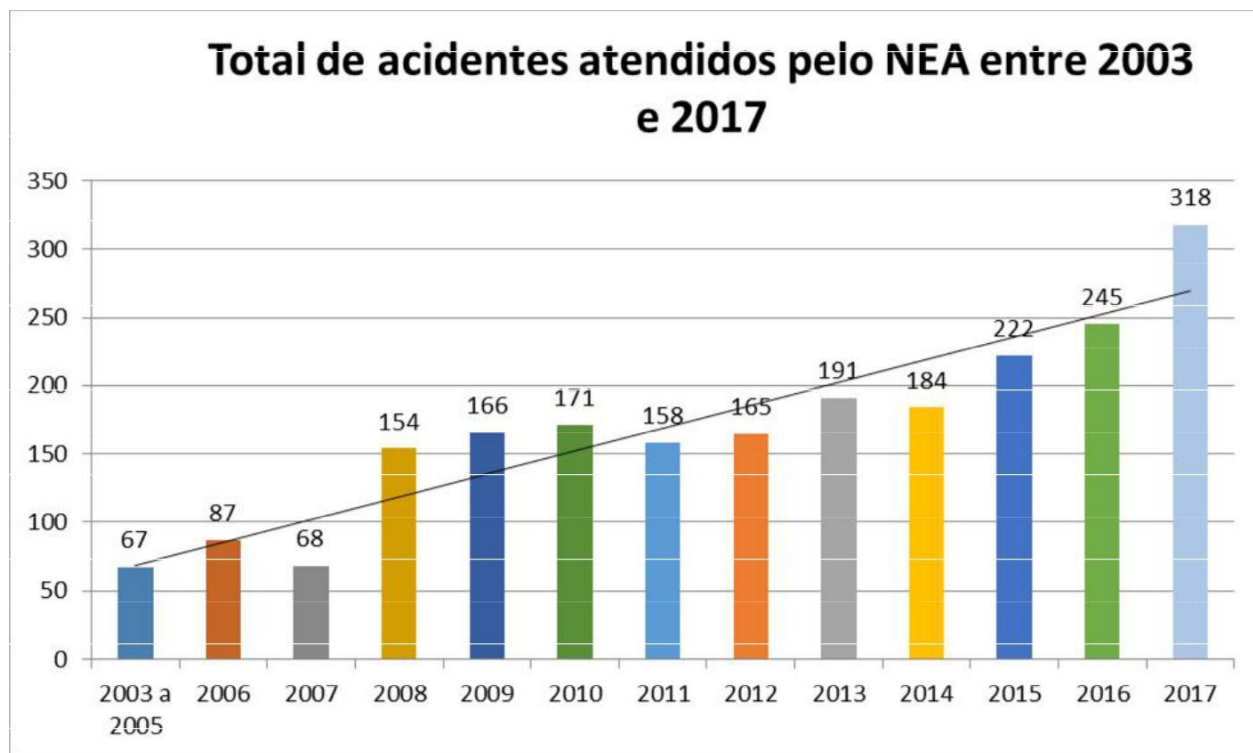


Gráfico 1 - Atendimento de Acidentes Emergenciais. (NEA,2017)

Observa-se que o número de ocorrências registradas e atendidas pelo órgão responsável a cada ano tem aumentado os números de registros. Sendo 70% ocorrências emergenciais no modal rodoviário, conforme dados do NEA. (NEA,2017)

O método de delimitar, a área de descontaminação para remoção ou degradação *in-situ* ou *ex-situ* dos contaminantes e uma importante ferramenta para redução de impactos ambientais, a saúde e os custos para a empresa envolvidos na operação. Os acidentes no modal rodoviário tem 90% de descontaminação *ex-situ*, com remoção da área contaminada e recomposição de solo e vegetação, principalmente por tratar de áreas de circulação, como rodovias e estradas de responsabilidade da união, estado ou município onde não é viável delimitar uma área controlável para tratamento *in-situ*, devido a probabilidade de outras ocorrências de empresas diversas no local e geração de um passivo ambiental vinculado ao empreendimento.

## 5. CONCLUSÃO

Em uma emergência no modal rodoviário, o tempo de resposta e um fator primordial para redução dos impactos ambientais e contaminação de solos, águas superficiais e águas subterrâneas, somada ao método de delimitar a área de intervenção mais utilização de métodos mitigadores,



podemos reduzir consideravelmente os impactos ambientais, impactos a águas das populações circunvizinhas e redução de custos da operação junto a seguradoras ambientais.

No estado de Minas Gerais por meio da Lei 22.805 de 2017, que legisla sobre os acidentes no transporte de produtos perigosos ou resíduos, determina que deve ser iniciado as primeiras ações emergenciais em até duas horas da ocorrência do acidente. As empresas devem disponibilizar no local do sinistro os recursos apropriados para ações emergenciais, em até quatro horas da ocorrência do acidente, caso ocorrido nas regiões metropolitanas, e em até oito horas nas demais localidades, salvo ocorrência de caso fortuito ou força maior e iniciar as ações de remoção e descontaminação do ambiente do entorno do local do acidente, em até vinte e quatro horas.

Concluindo, a legislação estadual determina as medidas de tempo para iniciar as operações de atendimento emergencial, com objetivo de redução dos impactos ambientais. Cabe aos profissionais habilitados a análise juntamente com os fiscais do NEA, a delimitação das áreas contaminadas e as técnicas a serem aplicadas para a recuperação ambiental do local sinistrado.

## 6. REFERÊNCIAS

ANDRADE, J.A.; AUGUSTO, F; JARDIM, I.C.S.F. Biorremediação de solos contaminados por petróleo e seus derivados, Eclét. Quím. Vol 35 n° 3, São Paulo Setembro 2010.

AISLABIE, J.M.; BALKS, M.R.; FOGHT J.M. & WATERHOUSE, E.J. Hydrocarbon spills on Antarctic soils: effects and management. Environ. Sci. Technol., 38:1265-1274, 2004. [ [Links](#) ]

BENTO, F.M.; CAMARGO, F.A.O.; OKEKE, B. &FRANKENBERGER-JÚNIOR, W.T. Bioremediation of soil contaminated by diesel oil. Braz. J. Microbiol., 34:65-68, 2003. [ [Links](#) ]

CETESB: COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo, 2005. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/>. Acesso em 19 mar. 2018. [ [Links](#) ]

CUSTANCE, S.R.; MCCAWE, P.A.; KOPF, A.C. & SULLIVAN, M.J. Environmental fate of the chemical mixtures: crude oil, jp-5, mineral spirits, and diesel fuel. J. Soil Contam., 1:379-386, 1992. [ [Links](#) ]

EPA: ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, UNITED STATES. Integrated Risk Information System: benzene. CASRN 71-43-2, 2003a. Disponível em: <http://www.epa.gov/iris/subst/0276.htm>. Acesso em 22 mar. 2018. [ [Links](#) ]

IARC: INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER. Carcinogenicity evaluation of BTEX, 71:829, 2006. Disponível em: <http://www.iarc.fr/>. Acesso em: 14 mar. 2018. [ [Links](#) ]

---





MARÍN, J.A.; MORENO, J.L.; HERNÁNDEZ, T. & GARCÍA, C. Bioremediation by composting of heavy oil refinery sludge in semiarid conditions. *Biodegradation*, 17:251-261, 2006. [ [Links](#) ]

NEA: NUCLEO DE EMERGENCIAL AMBIENTAL. Apresentações Seminário de emergência Ambiental 2017 Estado de Minas Gerais, 2017. Disponível em: <http://www.meioambiente.mg.gov.br/emergencia-ambiental/apresentacoes>. Acesso em 19 mar. 2018. [ [Links](#) ]

NIOSH: NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH. NIOSH Carcinogen List, 2006. Disponível em: <http://0-www.cdc.gov.mill1.sjlibrary.org/niosh/homepage.html>. Acesso em 17 mar. 2018. [ [Links](#) ]

TRADING, Curso de formação especialista para coordenadores locais no domínio do combate à poluição por hidrocarbonetos e outras substancias perigosas, São Paulo, 2015.

VROM. Intervention values and target values: soil quality standards. [ [Links](#) ] Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment. Premises for risk management: annex to the Dutch Environmental Policy Plan. The Hague: Lower House, DBO/07494013, 1994. 19p. [ [Links](#) ]

WATTS, R.J.; HALLER, D.R.; JONES, A.P. & TEEL, A.L. A foundation for the risk-based treatment of gasoline-contaminated soils using modified Fenton's reactions. *J. Hazard. Mater.*, 76:73-89, 2000. [ [Links](#) ]

## **7. AGRADECIMENTOS**

**OS AUTORES AGRADECEM À FAPEMIG PELO APOIO PRESTADO.**

---

Uberaba, 30 de Novembro e 01 de Dezembro de 2018