

# Toxicologia das emissões veiculares de diesel: um problema de saúde ocupacional e pública\*

**Toxicology of diesel vehicular emissions:  
an occupational and public health matter**

JOÃO ROBERTO PENNA DE FREITAS GUIMARÃES

**RESUMO:** Nesta revisão, analisa-se o impacto das emissões do óleo diesel sobre a saúde pública e seus principais efeitos toxicológicos sobre os seres humanos. São destacados alguns dos compostos químicos mais tóxicos presentes nas emissões do diesel e é feita uma descrição a respeito da opinião dos principais órgãos ambientais, de saúde, segurança e meio ambiente dos Estados Unidos da América e Europa a respeito do assunto. São mostradas algumas das legislações brasileiras de poluição veicular, bem como a classificação de resíduos perigosos adotada pela ABNT. Por fim, é apresentada uma opção menos poluente que já se encontra em uso em países europeus, quanto ao chamado *biodiesel*, e seu uso em breve no Brasil.

**PALAVRAS-CHAVE:** emissões de diesel, HAP, benzopireno, dioxinas e furanos, asma, câncer, toxicologia.

## 1. INTRODUÇÃO

O óleo diesel move o Brasil. Milhares de caminhões e ônibus estão circulando pelas ruas e avenidas de sua cidade, enquanto você lê este artigo. É inegável a utilidade do diesel no dia-a-dia das pessoas. Pense em quantos milhões de brasileiros vão para a escola, trabalho e para casa, graças os motores a diesel. Pense também nas toneladas infindáveis de carga transportadas por milhares de quilômetros em função dos motores diesel.

Apesar de tanta utilidade, graves problemas de saúde também fazem parte da população mundial graças a este combustível. E o pior: poucos são os brasileiros que têm consciência desta situação. Muitos estão doentes, mas sequer fazem idéia da causa de suas doenças.

As emissões do óleo diesel são um grave problema ambiental mundial. Governos de vários países vêm estudando os efeitos derivados da inalação do material particulado<sup>1</sup> e gasoso proveniente da combustão incompleta do diesel nos motores de caminhões, ônibus e veículos utilitários movidos pelo combustível.

\* Originalmente publicado na Revista de Estudos Ambientais, v.6, n.1, jan./abril 2004, p. 82-94, editada pela Universidade de Blumenau.

Em 1997 a SMA - Secretaria do Meio Ambiente do Governo do Estado de São Paulo publicou o Documento de Discussão Pública "*Por um Transporte Sustentável*", no qual indica que a frota de ônibus a diesel na RMSP - Região Metropolitana de São Paulo é muito superior à de trolebus (que operam a energia elétrica, não emitindo fuligem de diesel). Em 1995 a população de usuários da frota de ônibus a diesel era de 2.426.607 passageiros/mil/ano, contra apenas 78.426 passageiros/mil/ano em trolebus (dados recentes da CETESB, de 2002, indicam que a frota de veículos pesados na RMSP ultrapassa 400.000 veículos a diesel).

Este documento da SMA também indicou que no ano de 1995 as 23 estações de amostragem da CETESB que monitoram o material particulado na RMSP indicaram uma média aritmética anual superior ao padrão nacional de qualidade do ar aceitável, no que diz respeito às partículas inaláveis.

Detalhe importante é citado no documento quanto ao fato de que 40% da frota de veículos diesel na RMSP estava desregulada em 1996 (um motor diesel, quando regulado, emite 0,8 gramas de particulados por quilômetro, mas quando desregulado, emite entre 3,0 e 4,0 gramas de particulados por quilômetro, aumentando muito a poluição atmosférica). A desregulagem se dá na bomba injetora do motor, pois com isto se obtém um pouco mais de potência, mas com maior consumo e muito mais poluição. Dados de 2002 da CETESB mostram que a porcentagem da frota a diesel desregulada caiu para 7,5%.

Face a este "jeitinho brasileiro", a CETESB vem atuando veículos diesel que emitem fumaça preta. O valor da multa em 1996 equivalia a 60 UFESPs e neste mesmo ano, 75.000 veículos a diesel tinham sido multados na RMSP. Em outras cidades, os proprietários de veículos estão sendo advertidos, por meio de campanhas de conscientização.

Os 67 municípios das três regiões metropolitanas do estado - de *São Paulo* (RMSP 17,8 milhões de habitantes), de *Campinas* (RMC 2,3 milhões) e da *Baixada Santista* (RMBS 1,5 milhão) possuem, além das emissões industriais, a **maior frota de veículos do País**, o que lhes confere, junto com a cidade de Cubatão, uma deterioração da qualidade do ar que exige cuidados especiais no controle da poluição atmosférica. Aproximadamente 25% da frota de veículos que circula no estado possui 15 ou mais anos de uso, com motores desregulados, falhas mecânicas e muita poluição.

Na RMSP e Cubatão foram desenvolvidos muitos estudos de partículas finas<sup>1</sup>. Na RMSP, os valores médios variaram entre 28 e 56  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (referência USEPA = 15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) e os valores máximos diários foram de 145  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (referência USEPA = 65  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Em média, as partículas finas correspondem a 60% das partículas inaláveis.

## 2. A HISTÓRIA DO DIESEL

Foi o alemão *Rudolf Diesel* quem inventou o motor a diesel, apresentando-o em Paris há aproximadamente cem anos. Trata-se de um motor de combustão interna que funciona a partir do calor proveniente do ar comprimido, que provoca a ignição do combustível injetado no cilindro, o que difere este tipo de motor dos demais, que necessitam de velas de ignição. O termo *diesel* e também *óleo diesel* surgiu do nome de seu inventor e hoje é usado para designar o tipo de combustível aplicável a este tipo de motor.

O diesel é um combustível muito diferente da gasolina, apesar dos dois serem derivados do petróleo. É uma fração obtida do gasóleo, sendo uma mistura de hidrocarbonetos na faixa de  $\text{C}_{12}$  a  $\text{C}_{20}$ , predominantemente alifáticos, olefínicos, cicloparafínicos e aromáticos, tendo também quantidades variáveis de enxofre e aditivos em sua composição (como o Nonano). É um líquido inflamável.

### 3. AS EMISSÕES DO DIESEL

A combustão do diesel dentro do motor não é completa, o que gera gases e resíduos particulados que saem do escapamento dos veículos. Você os conhece bem é até já viu muitas vezes: trata-se daquela **fuligem preta** saindo do escapamento de ônibus, caminhões e utilitários a diesel, no trânsito.

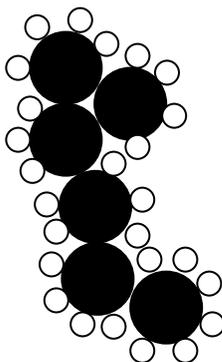
Pois bem, um estudo publicado em 1988 pelo *NIOSH – National Institute for Occupational Safety and Health*, intitulado *Carcinogenic Effects of Exposure to Diesel Exhaust* (Efeitos carcinogênicos<sup>2</sup> da exposição à exaustão de diesel) indica que as emissões de motores a diesel são compostas por **gases, vapores e material particulado**.

Os **gases e vapores** constituintes incluem o Dióxido de Carbono, o Monóxido de Carbono, Óxidos Nítricos, Dióxido de Nitrogênio, Óxidos Sulfurosos, e diversos hidrocarbonetos (etileno, formaldeído, metano, benzeno, fenol, 1,3-butadieno, acroleína e Hidrocarbonetos Aromáticos Polinucleares – HAP's).

A **fuligem** derivada da exaustão dos motores a diesel (gerada pela pirólise durante a combustão incompleta do diesel no motor) apresenta compostos de carbono. Mais do que 95% destes particulados sólidos é **menor do que 1 micrômetro de tamanho** ( $\mu\text{m}$ ), o que facilita a sua inalação e penetração nos pulmões. Os Hidrocarbonetos Aromáticos Polinucleares ficam adsorvidos nestes particulados. BRAGA et al indicam que dentre a porcentagem de poluentes em função da fonte de emissão na cidade de São Paulo, em 1996, os **veículos a diesel** eram aqueles que mais emitiam **material particulado**, com 25,5%.

O *U.S. Department of Health and Human Services* indica que 92% do material particulado encontrado nas emissões de diesel é **menor do que 1  $\mu\text{m}$** .

Uma representação esquemática de um aglomerado de partículas de emissão de diesel é vista abaixo (a partir do documento do HEI - *Research Directions to Improve Estimates of Human Exposure and Risk from Diesel Exhaust - 2002*):



○ Gotículas de hidrocarbonetos adsorvidas na partícula de fuligem.

● Partícula de fuligem ( $\varnothing$  de 0,01 a 0,08  $\mu\text{m}$ ).

Gomes cita que o **material particulado** fino ( $<2,5\mu\text{m}$ ) não apenas entra nos pulmões (chegando aos alvéolos), mas passa à **corrente sanguínea e linfática**. Azevedo e Chasin (2003) confirmam tal dado, ao indicar que partículas de 1 a 3  $\mu\text{m}$  entram na corrente sanguínea.

No estudo da NIOSH já citado, foram encontrados os seguintes Hidrocarbonetos Aromáticos Polinucleares, todos já comprovadamente carcinogênicos: benzo (a) pireno (3,4-benzopireno); benzo (e) pireno (1,2-benzopireno) e mistura de benzofluorantenos.

A EPA - *Environmental Protection Agency* (Agência de Proteção Ambiental Americana) publicou na década de 90 uma tabela com mais de **40 produtos químicos** que estão presentes nas emissões do diesel, dos quais reproduzimos os de **maior importância toxicológica** – ver **Tabela 1** a seguir.

O *Critério de Saúde Ambiental nº 171 - Diesel Fuel and Exhaust Emissions*, da Organização Mundial da Saúde, publicado em 1996, confirma estes agentes químicos em sua Tabela 25 e pode ser acessado pela Internet no endereço [www.inchem.org](http://www.inchem.org).

**Tabela 1 – Produtos químicos encontrados pela EPA nas emissões de diesel**

Acetaldeído	Acroleína	Anilina
Arsênico	Benzeno	Bifenilas
1,3-butadieno	Cádmio	Cianetos
Chumbo inorgânico	Clorobenzeno	Compostos de Antimônio
Compostos de Berílio	Compostos de Cobalto	Compostos de Cromo
Compostos de Manganês	Compostos de Mercúrio	Cresol
Dioxinas e furanos	Estireno	Etilbenzeno
Fenol	Formaldeído	Fósforo
Metanol	Metil Etil Cetona (MEC)	Naftaleno
Níquel	4-nitrodifenila	HAP's diversos
Propionaldeído	Tolueno	Xilenos

#### 4. TOXICOLOGIA

Destes estudos é possível compreender porque as emissões de diesel oferecem sérios riscos para a saúde pública. Pela coleta de dados mais recente, já está comprovado que as populações que se encontram na “rota do diesel”, ou seja, aquelas pessoas que moram e/ou trabalham em avenidas ou nas proximidades de autopistas e estradas movimentadas, apresentam problemas respiratórios e índices de câncer de pulmão em maior quantidade do que aquelas que estão longe de tais áreas.

Também já se sabe que há profissões de maior morbidade por exposição às emissões de diesel: **motoristas de caminhão, motoristas de empilhadeiras a diesel, guardas e fiscais de trânsito, pessoal de manutenção em garagens de ônibus, caminhões e utilitários, pessoal em manutenção de rodovias, ferrovias** (locomotivas a diesel) e **túneis, agricultores** (tratores e implementos agrícolas a diesel) e **trabalhadores em minas de carvão**. No estudo da NIOSH que acima mencionamos, estimava-se no final dos anos 80 que mais de 1.350.000 trabalhadores nos EUA estavam expostos.

Contudo, um dos estudos mais recentes e que causou maior preocupação nos EUA foi o publicado pelo NRDC – *Natural Resources Defense Council* (Conselho de Defesa dos Recursos Naturais): *No Breathing in the Aisles – Diesel exhausted inside School Buses*, que indica que as pesquisas feitas nos ônibus escolares da Califórnia demonstram que o ar dentro da cabine dos ônibus (onde ficam as crianças) contém diversos dos poluentes que acima foram citados, sendo inalado pelas crianças a caminho da escola e no retorno para casa. Deste estudo foram tiradas diversas conclusões:

- Uma criança dentro do ônibus está respirando 4 vezes mais emissões tóxicas do diesel (emitido pelo próprio ônibus) do que uma pessoa que está num carro trafegando próximo do mesmo ônibus, na rua;
- Os níveis de compostos tóxicos provenientes das emissões de diesel dentro do ônibus são maiores na parte de trás do que na parte da frente;
- Os níveis de compostos tóxicos provenientes das emissões de diesel dentro do ônibus aumentam ainda mais em trechos de subidas (ladeiras, por exemplo);
- Estima-se que a cada 1 milhão de crianças indo e voltando da escola durante o ano escolar, entre 23 e 46 futuramente desenvolverão câncer de pulmão.

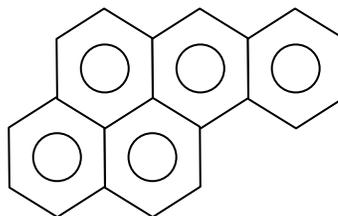
De fato, o *NIOSH - National Institute for Occupational Safety and Health*, a *IARC - International Agency for Research on Cancer*, a *USEPA - United States Environmental Protection Agency*, e o *NTP - National Toxicology Program* concordam que há uma relação direta entre a exposição às emissões do diesel e o câncer de pulmão.

Não é à toa. Dos produtos tóxicos que acima listamos (segundo a EPA), há aqueles que até o Ministério do Trabalho e Emprego do Brasil reconhece como cancerígenos: textualmente na Norma Regulamentadora 15 (ou NR 15), em seu Anexo 13, a **4-nitrodifenila** é citada como **substância cancerígena** para a qual não é permitida “*nenhuma exposição ou contato, por qualquer via*”.

Mas não paramos por aí. O **benzo (a) pireno** (ou simplesmente Benzopireno) é também textualmente citado pelo Anexo 13 da NR 15, mas desta vez não se fala em “substância cancerígena”, apenas que “as operações” com Benzopireno são “*insalubres em grau máximo*”, não se prestando qualquer explicação do motivo pelo qual são assim classificadas.

Explicamos: o Benzopireno é há mais de cem anos reconhecido como cancerígeno e mutagênico<sup>3</sup>. Várias publicações assim o confirmam, como se pode ver a seguir.

Benzopireno



Em trabalho desenvolvido pela Divisão de Toxicologia e Ecotoxicologia da CETESB de São Paulo/SP, publicado em 1981 pela Revista Brasileira de Saúde Ocupacional nº 36, intitulado “*Aspecto Toxicológico dos Hidrocarbonetos Aromáticos Polinucleares (PAH)*”, Fernícola e Azevedo indicam, dentre alguns poluentes atmosféricos urbanos, o benzo(a)pireno, o benzo(e)pireno, o benzo(a)antraceno e os fluorantenos como **agentes carcinogênicos** identificados no ar urbano, indicando os gases da exaustão de veículos automotores como fontes significativas de tais poluentes. Chegam a destacar que o benzo (a) pireno foi encontrado no solo das proximidades das rodovias em elevadas concentrações (2.000 µg/kg).

Nogueira e Montoro, organizando a obra *Meio Ambiente e Câncer*, publicada em 1983, confirmam diversos Hidrocarbonetos Aromáticos Polinucleares de ação carcinogênica, aí incluindo o benzopireno. Citam também um risco significativo de se desenvolver tumores a partir do contato com **fuligem** (material particulado).

O Documento de Discussão Pública "Por um Transporte Sustentável" (1997), já acima mencionado, cita que as partículas minúsculas como as emitidas por veículos a diesel, são menores do que um fio de cabelo e, assim, **não** são retidas pelas defesas do trato respiratório, como pêlos, cílios, mucosas. As partículas mais grossas causam irritação nestas áreas, facilitando processos infecciosos. As mais finas, no entanto, conseguem chegar às regiões mais profundas dos pulmões, **aumentando os casos de câncer naquele órgão**.

Também de 1997 é o artigo de Cohen et al, que textualmente citam as **emissões de diesel** (contendo benzopireno) como causadoras de **câncer nos pulmões** e, como profissões de risco, **motoristas de caminhão, mecânicos, funcionários de garagens de ônibus e trabalhadores em docas**.

Detalhes bem mais específicos nos dão Pereira Netto et al em 2000. Logo no início indicam que particularmente uma das mais representativas fontes ambientais de HPA é a **exaustão de motores a diesel** e que os grupos populacionais mais expostos são aqueles que residem ou trabalham em ambientes diretamente influenciados por tais fontes. Ao indicar a meia-vida<sup>4</sup> de alguns HPA's no solo, detalham a do **benzopireno como entre 270 dias e 8 anos**. Também indicam que a contaminação humana tanto pode se dar pela **inalação**, para a qual comentam novamente a exposição às emissões dos motores diesel, quanto pela via **dérmica**. Finalmente, confirmam que o benzopireno e os benzofluorantenos já são indicados pela IARC como carcinogênicos e mutagênicos.

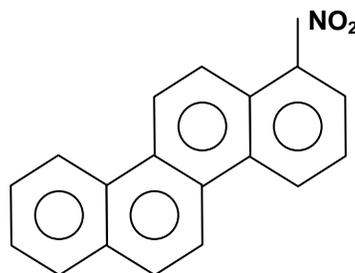
A obra "*Prevenção e Controle da Poluição nos Setores Energético, Industrial e de Transporte*", de Lora, em 2000, confirma no *Capítulo VIII - Poluição do Ar: Fontes e Efeitos*, por meio da Tabela 8.1, que os motores de combustão interna, como os dos **veículos automotores**, são uma fonte de **fuligem**, tendo nas emissões gasosas a presença de NO<sub>x</sub>, CO, aldeídos, hidrocarbonetos e 3,4-benzopireno. No mesmo capítulo, o Autor comenta que o benzopireno é considerado um composto cancerígeno genotóxico, já que afeta o material genético das células (DNA).

Em artigo publicado em 2000, Medrado-Faria et al tratam dos **índices crescentes de câncer do sistema nervoso nos habitantes da região da Baixada Santista**. Esta região apresentou a **taxa de mortalidade de câncer mais alta**, quando comparada às outras 42 regiões do Estado de São Paulo.

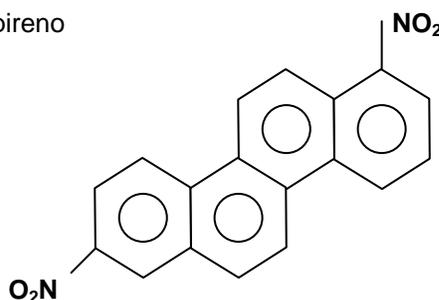
Dentre diversos fatores de interesse para a região, destaca-se o fato de que os Autores atentam para a relação entre a exposição a **hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAH's)** e o risco de desenvolvimento de Câncer do Sistema Nervoso em grupos de população submetidos à exposição profissional e à poluição ambiental.

Informações também recentes indicam, conforme Baird, em 2002, que a exaustão de motores a diesel não apresenta apenas PAHs, mas também alguns dos seus derivados que apresentam o **grupo químico nitro – NO<sub>2</sub>**, como substituinte. Tais substâncias **são carcinógenos até mais ativos** do que os correspondentes PAHs (o que PEREIRA NETTO et al também indicam no artigo anteriormente citado). Textualmente são citados dois nitroderivados como potentes mutágenos provenientes das emissões do diesel: o **Nitropireno** e o **Dinitropireno**. Estes compostos são formados no interior dos motores a diesel por reação do pireno com NO<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>.

Nitropireno



Dinitropireno



Ainda no que se refere à **fuligem**, temos que Patnaik, em 2002, apresenta a tabela da *IARC – International Agency for Research on Cancer* (Agência Internacional para Pesquisa do Câncer), na qual se vê que a **fuligem** é um composto químico confirmado como carcinógeno humano.

Na Tabela V.4, Patnaik detalha que tanto a **fuligem** como o **benzo (a) pireno** causam **câncer de pele**. Já na Tabela V.8, o Autor publica que os PAHs, como o benzo (a) pireno (textualmente citado) provocam **danos ao sistema reprodutor feminino humano**. O Autor também indica a **4-nitrodifenila** como carcinógeno humano já confirmado pela IARC.

Não podemos deixar de citar as **dioxinas e furanos**, que também foram indicadas pela EPA como presentes nas **emissões do diesel**. Um estudo desenvolvido na Noruega por Oehme et al (1991) concluiu que os veículos a diesel emitem **20 vezes mais dioxinas e furanos** do que aqueles a gasolina.

Em 1994 a *USEPA - United States Environmental Protection Agency* classificou a **2,3,7,8-tetraclorodibenzo-p-dioxina** (2,3,7,8-TCDD) como capaz de aumentar a incidência de câncer em humanos. Este tipo de dioxina é considerado o que apresenta a mais elevada toxicidade aguda em humanos.

A *APHA – American Public Health Association* indicou em 1995 que a exposição às dioxinas leva ao aparecimento de **câncer**, a efeitos reprodutivos adversos, à disrupção endócrina, e também à alterações comportamentais e cognitivas em recém-nascidos de mães expostas à dioxina.

Driscoll et al (2004) confirmam que as **emissões de diesel** são responsáveis por aumentos significativos de **câncer pulmonar**.

## 5. OUTROS DANOS À SAÚDE

A AGENDA 21<sup>5</sup> indica que o material particulado vem sendo associado ao aumento de internações e mortes por doenças respiratórias entre idosos além dos 64 anos, crianças e adolescentes até 15 anos.

Estudos indicam que 10% das internações por doenças respiratórias na infância e 8% das mortes de idosos associam-se aos altos níveis de material particulado. Mortes de fetos, recém-nascidos e crianças de até cinco anos, por causas respiratórias, e idosos, por causas respiratórias e cardiovasculares foram também correlacionadas a concentrações de poluentes. O material particulado agrava os casos de asma e bronquite. Lemle indica as emissões de diesel como causa de bronquite crônica ocupacional.

Kilburn relatou em 2000 alguns efeitos das emissões de diesel em maquinistas e mecânicos de locomotivas nos EUA: perda de memória, dificuldade de concentração, perturbações no sono, tremores e dores de cabeça constantes.

Estudos bem recentes (HOLGATE et al, 2002) indicam que a exposição a concentrações baixas de emissões de diesel em postos de trabalho induzem ao aparecimento de inflamações no trato respiratório e que tais sinais clínicos não são detectáveis por exames e testes funcionais respiratórios tradicionais. Holgate e sua equipe de pesquisadores demonstram inclusive que a morbidade por **doenças cardiovasculares** está associada diretamente às emissões de diesel, como já se tinha afirmado anteriormente em outros estudos epidemiológicos associados a partículas finas.

Gomes confirma, indicando que as partículas finas dos poluentes ambientais estão associadas principalmente com uma maior **morbidade e mortalidade cardiovasculares**. Fischlowitz-Roberts explica que isto se deve ao fato das pessoas que estão expostas aos particulados provenientes da poluição automotiva apresentam uma vaso-constricção das artérias e vasos capilares, reduzindo o fluxo sanguíneo e a oxigenação ao coração.

Mas não é só. O estudo indica também que pessoas que não sofrem de asma e estão ocupacionalmente expostas às emissões de diesel podem iniciar um processo de inflamação nestas vias, além de apresentar dificuldade para respirar.

Mais assustador ainda é o estudo de Pereira, publicado no Boletim 415 da Agência de Notícias da USP, ao relatar que os fetos também são expostos aos poluentes derivados da poluição veicular, após verificar os resultados do exame de sangue do cordão umbilical de recém-nascidos, onde foi encontrada concentração de carboxihemoglobina em bebês que nasceram nos dias mais poluídos na cidade de São Paulo.

## 6. LEGISLAÇÃO

Vimos que existe legislação no país que trata da exposição ocupacional a produtos químicos, sendo esta a Norma Regulamentadora 15 (ou NR 15) da Portaria 3.214/78 do MTE. O Anexo 13 desta NR traz alguns enquadramentos de insalubridade para trabalhadores expostos a alguns dos produtos químicos que foram citados a partir da EPA, conforme a Tabela 1 acima. Já mencionamos a **4-Nitrodifenila**, o **Benzo (a) pireno** (que é citado no Anexo 13 como Benzopireno).

Há outros agentes químicos mencionados no Anexo 13 e que também possibilitam o enquadramento de insalubridade, oferecendo risco aos trabalhadores: o **Cádmio** e o **Berílio** aparecem como **insalubres em grau máximo**.

No que se relaciona às legislações brasileiras para controle da poluição veicular, temos os Padrões Nacionais de Qualidade do Ar, publicados na **Portaria nº 231/76** do Ministério do Interior. No ano seguinte é publicado o **Decreto nº 79.134/77**, que proibiu o tráfego de veículos a óleo diesel desregulados.

No Estado de São Paulo aparece a **Lei 997/76**, a primeira a dispor sobre a matéria de poluição do ar por fontes móveis no estado. Foi regulamentada pelo **Decreto 8.468/76**, que indica os padrões de emissões, os padrões de qualidade do ar, fiscalizações e sanções.

O *Comitê Consultivo de Controle da Poluição do Ar no Estado de São Paulo*, criado em 1996, sofreu uma reformulação em 2002, ocasião na qual foi criado o *Comitê Metropolitano do Ar Limpo*, que tem dentre suas atribuições o controle da poluição veicular.

Em 1986 foi criado o PROCONVE – Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores, através da Resolução CONAMA nº 18. O PROCONVE determinou a partir de 01/01/00 os Limites Máximos de Emissão de Poluentes para Veículos Automotores. A **Tabela 2** mostra os limites para veículos pesados a diesel:

**Tabela 2: Limites de emissão para veículos pesados – em g/kg**

<b>POLUENTES</b>	<b>LIMITES</b>
Monóxido de carbono (CO g/km)	4,0
Hidrocarbonetos (HC g/km)	1,1
Óxidos de nitrogênio (NOx g/km)	7,0
Material particulado (MP g/km)	0,25
Fumaça	-

Não podemos deixar de mencionar que a **Lei 9.605/98** (conhecida como Lei de Crimes Ambientais), prevê na *Seção III – Da poluição e outros crimes ambientais*, artigo 54, crime por “causar poluição de qualquer natureza em níveis tais que resultem ou possam resultar em danos à saúde humana”. No inciso II do mesmo artigo, a lei indica crime por “causar poluição atmosférica que (...) cause danos diretos à saúde da população”.

## **7. NORMATIZAÇÃO**

O Brasil conta com uma série de normas da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, que apresentam a classificação de periculosidade de resíduos químicos. Dentre elas, destaca-se a *NBR 10004 – Resíduos sólidos – classificação*. Ela classifica os resíduos químicos face aos riscos à saúde pública e ao meio ambiente em três categorias: classe I – resíduos perigosos (que podem apresentar características como corrosividade, inflamabilidade, toxicidade, reatividade, etc.); classe II – não-inertes e classe III – inertes.

Nosso interesse aqui é traçar comentários face à **classe I**, pela característica de **toxicidade** apresentada pelos agentes químicos que compõem as emissões do diesel, pois o *ANEXO D* da referida norma apresenta a *Listagem nº 4 – Substâncias que conferem periculosidade aos resíduos*, nela sendo identificados 22 agentes que já acima listamos na **Tabela 1** (na qual foram apresentados 33 agentes ou compostos químicos), sendo estes apresentados na **Tabela 3**, a seguir:

**Tabela 3 – Produtos químicos encontrados nas emissões de diesel e que conferem periculosidade (toxicidade) segundo a Listagem 4 da NBR 10004**

Acetaldeído	Acroleína	Anilina
Arsênico	Benzeno	Bifenilas
Chumbo inorgânico	Cádmio	Cianetos
Clorobenzeno	Compostos de Berílio	Compostos de Cromo
Compostos de Mercúrio	Cresol	Fenol
Formaldeído	Metil Etil Cetona (MEC)	Naftaleno
Níquel	4-nitrodifenila	HAP's diversos
Tolueno		

É muito importante ressaltar que a presença de apenas **um** destes agentes ou compostos químicos no resíduo já é suficiente para que o mesmo seja classificado como perigoso, ou seja, de **classe I, oferecendo risco à saúde pública e ao meio ambiente**.

Assim, temos mais uma comprovação de que as emissões de diesel, dada a sua distribuição em áreas urbanas densamente povoadas, com intenso fluxo de veículos que trafegam com este tipo de combustível, se constituem num sério problema de saúde para a população exposta nestas áreas ou naquelas ocupações já acima detalhadas.

Se levarmos em conta que a meia-vida de Hidrocarbonetos Aromáticos Polinucleares é longa nos diversos compartimentos ambientais (ar, água, solo e sedimentos), veremos como é sério este problema.

A título de exemplificação, podemos citar que a meia-vida do **Benzo (a) Pireno** e do **Naftaleno** (ambos emitidos pela queima do diesel pelos motores dos veículos) é a seguinte (segundo o *Critério de Saúde Ambiental nº 171 - Diesel Fuel and Exhaust Emissions*, da Organização Mundial da Saúde), conforme a **Tabela 4**:

**Tabela 4 – Meia-vida de HAP nos compartimentos ambientais**

Componente	Ar	Água	Solo	Sedimentos
Naftaleno	Um dia	Uma semana	Dois meses	Oito meses
Benzo(a)pireno	Uma semana	Dois meses	Dois anos	Seis anos

## 8. UMA OPÇÃO: O BIODIESEL

Surgiu nos últimos anos uma opção para o diesel derivado do petróleo: o biodiesel. Lá fora o estão chamando de diesel verde (*green diesel*). A primeira razão seria o fato de que o biodiesel emite um número bem menor de particulados para a atmosfera e, assim, seria menos poluente do que o diesel tradicional.

Outra característica é que o biodiesel seria utilizado como um aditivo ao diesel tradicional, enquanto não o substituiria totalmente e isto sem grandes adaptações nos motores existentes. Como um aditivo, o biodiesel já iria reduzindo a quantidade de diesel tradicional e, assim, também reduziria a emissão de particulados.

Por tais razões, o uso de biodiesel vem avançando na Europa, principalmente na Alemanha, França e Itália. A partir de 2005, vários países europeus, por força de lei, devem adicionar o biodiesel ao diesel tradicional, em proporções crescentes (2% em 2005 e 5% em 2010).

Atualmente, o Brasil consome cerca de 34 milhões de m<sup>3</sup>/ano de diesel de petróleo, dos quais 30 milhões são usados em transporte. A idéia é que até 2005 seja modificado o diesel tradicional, que passaria a ter uma composição de 5% de biodiesel e 95% de diesel tradicional (o produto seria chamado de B5, ou *Blend 5*). Futuramente, passaria para B20, pois a proporção seria de 20% de biodiesel e 80% de diesel tradicional.

Estas mudanças seriam também significativas em termos de economia de divisas para o país. Hoje o Brasil importa cerca de 6 milhões de m<sup>3</sup>/ano de diesel de petróleo. Com o B5, as importações já cairiam 25% e com o B20, seriam desnecessárias.

Contudo, em termos toxicológicos, o biodiesel não escapa às críticas já existentes nos EUA, segundo o NRDC – *Natural Resources Defense Council*, que afirma ser o biodiesel americano um produto que também emite poluentes atmosféricos. Como exemplo, comparando-se as emissões de motores a diesel e a gás natural, o estudo do NRDC indica que o motor diesel de ônibus americano emite entre 3 e 6 vezes mais material particulado do que os motores a gás natural.

## 9. OUTRAS OPÇÕES

Há outras opções que permitiriam uma redução expressiva da emissão de poluentes gerados pelos veículos a diesel, como a ampliação da frota de trólebus, uma melhoria generalizada no transporte coletivo em outras modalidades, como o metrô, além de vias “amigáveis” para pedestres e ciclistas.

A frota de ônibus a gás natural, desde que com o motor sempre bem regulado, gera menos poluição do que motores diesel, permite a redução das emissões de monóxido de carbono, particulados e hidrocarbonetos, estes últimos menos reativos e prejudiciais à saúde da população.

## 10. COMENTÁRIOS FINAIS

Após tantas informações, podemos chegar a algumas importantes conclusões:

- A exposição às emissões de motores a diesel se dá tanto por **gases e vapores**, quanto a **material particulado**. Todos estes tipos de emissões são prejudiciais à saúde humana;
- Dentre o material particulado, a maioria das partículas é de um tamanho minúsculo (< 1 µm), o que facilita não apenas a sua inalação, mas também a sua chegada às partes mais profundas do pulmão (alvéolos), diminuindo a capacidade respiratória do indivíduo, e aumentando os processos inflamatórios. Com este tamanho, as partículas entram na corrente sanguínea (AZEVEDO & CHASIN, 2003)
- Diversos agentes químicos deletérios à saúde humana foram identificados nas emissões de diesel e muitos deles são **comprovadamente cancerígenos**, inclusive sendo reconhecidos pelo nosso Ministério do Trabalho e Emprego como tais, além dos enquadramentos de insalubridade que acima expusemos (NR 15);
- Foram identificadas funções que obviamente se encontram mais expostas às emissões de diesel (já acima identificadas) e que merecem uma grande atenção por parte do SESMET das empresas, pois espera-se um maior adoecimento respiratório destes trabalhadores por se encontrarem em tal situação. Os exames clínicos e laboratoriais destes trabalhadores devem

receber uma revisão e maior atenção e espera-se que apareçam casos de câncer de pulmão daqui a décadas em uma parcela desta população, o que tem implicações jurídicas evidentes às empresas;

- O PPRA<sup>7</sup> e o PCMSO<sup>8</sup> devem também sofrer uma revisão, pois tais riscos químicos ainda não são reconhecidos pelo SESMT (por ignorância...). A proteção respiratória para estes trabalhadores deve ser revista. Sistemas de exaustão também podem ser adotados, quando as fontes de emissão se encontrarem paradas (como nas oficinas e garagens), acoplados aos canos de escapamento. O indicador biológico para trabalhadores expostos às emissões de diesel por excreção urinária é o 1-hidroxipireno, já adotado na Itália (ver PERICO), mas ainda não adotado no Brasil, conforme o Quadro I da NR 07;
- Também as populações que vivem nas regiões de trânsito intenso de veículos a diesel, como estradas, avenidas e autopistas, principalmente aquelas que apresentam congestionamentos e/ou grande circulação deste tipo de veículos, estão expostas à uma maior concentração de material particulado, gases e vapores tóxicos, o que merece atenção por parte das Prefeituras e Governo Estadual, na medida em que os estudos já efetuados evidenciam um maior adoecimento respiratório, além de maior morbidade e mortalidade em populações específicas (crianças e idosos);
- A poluição atmosférica proveniente das avenidas e estradas com trânsito pesado atinge uma faixa de um quilômetro e meio de largura à sua volta, colocando a população aí localizada em risco de saúde (ver COURT). A poluição é pior no inverno;
- As empresas devem garantir a regulagem de motores a diesel de sua frota. Para tanto, um procedimento deve ser adotado, garantindo a qualidade dos serviços e padrões exigidos pelas atuais e futuras leis, que tendem a ser cada vez mais rigorosas;
- O uso de opções para o diesel (como acima também já relatamos) deve ser atentamente estudado por autoridades, ONGs, OSCIPs, Prefeituras, Governo Estadual e Federal, Secretarias de Meio Ambiente, etc.. A pesquisa deve ser fomentada nas Universidades e Empresas. Alternativas energéticas devem ser levadas a sério, pois quanto mais cedo se eliminar as emissões de diesel das cidades, mais cedo teremos uma qualidade de vida melhor para populações e trabalhadores.

## 11. NOTAS

<sup>1</sup> **Material Particulado.** Designa tanto partículas sólidas como gotículas em suspensão no ar ou depositadas sobre o solo. Existe uma grande quantidade dessas partículas sólidas ou líquidas em tamanhos e espessuras variadas. Partículas menores do que 10 micrômetros de diâmetro têm um impacto maior sobre a saúde humana porque elas podem ser inaladas e acumuladas no sistema respiratório. Partículas menores do que 2.5 micrômetros são designadas como "partículas finas". As fontes geradoras dessas partículas incluem todos os tipos de combustão (veículos automotores, usinas termelétricas, queima de madeira, etc.) e alguns processos industriais. Partículas com diâmetro entre 2.5 e 10 micrômetros são designadas como "grossas".

<sup>2</sup> **Efeitos carcinogênicos:** aqueles que provocam câncer. Neste artigo, a carcinogênese é um processo que leva ao câncer. Câncer é o desenvolvimento de um tumor maligno e sua disseminação por tecidos do organismo humano.

<sup>3</sup> **Mutagênico.** Que causa mutação, que é qualquer mudança hereditária no material genético do indivíduo. Neste artigo, a mutagênese é indicada como de origem química.

<sup>4</sup> **Meia-vida:** É o período de tempo necessário para que a metade dos átomos presentes num elemento se desintegre.

<sup>5</sup> **AGENDA 21.** Durante a *Rio 92*, a comunidade internacional aprovou um documento contendo compromissos para a mudança dos padrões de desenvolvimento no século 21, sem agressões ao meio ambiente, chamado *Agenda 21*. É um processo de planejamento estratégico que visa atingir o desenvolvimento sustentável global, nacional e local.

<sup>6</sup> **Vaso-constricção:** Diminuição do diâmetro do vaso sanguíneo.

<sup>7</sup> **PPRA:** Programa de Prevenção de Riscos Ambientais. Foi estabelecido com a publicação da Portaria nº 25 do Ministério do Trabalho e Emprego, de 29/12/1994. Está na Norma Regulamentadora nº 09.

<sup>8</sup> **PCMSO:** Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional. Foi estabelecido com a publicação da Portaria nº 24 do Ministério do Trabalho e Emprego, de 29/12/1994. Está na Norma Regulamentadora nº 07.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Resíduos Sólidos – Classificação – NBR 10004, Anexo D – Listagem 4**, São Paulo: 1987.

AGENDA 21, Capítulo 5: **Proteção da Atmosfera e Qualidade do Ar.**

AGÊNCIA USP DE NOTÍCIAS. Doenças do coração e abortos podem ser causados por poluição. **Boletim 415**. São Paulo: USP, CCS – Coordenadoria de Comunicação Social, 1999.

ASSUNÇÃO, João V. de; PESQUERO, Célia R. Dioxinas e furanos: origens e riscos, **Revista de Saúde Pública**, São Paulo: v.33, n. 5, 1999.

AZEVEDO, Fausto Antonio de; CHASIN, Alice da Matta. **As bases toxicológicas da ecotoxicologia**. São Carlos: RiMa, 2003. São Paulo: InterTox, 2003, 340 p.

BAIRD, Colin. **Química Ambiental**, 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 2002, 622 p.

BOFFETTA, Paolo et al. **Cancer Risk from Diesel Emissions Exposure in Central and Eastern Europe: A Feasibility Study**. Cambridge, MA. HEI - Health Effects Institute, 2002.

BRAGA, Benedito et al. **Introdução à Engenharia Ambiental**, São Paulo: Prentice Hall, 2002, 305 p.

COHEN, Aaron J. et al. Ambient air pollution as a risk factor for lung cancer. **Salud pública Méx**, Cuernavaca: v.39, n.4, 1997.

COURT, Paula. Do you jog in smog? Air pollution is another factor to consider in your fitness program. **American Fitness**, 2002.

DORA, Carlos. A different route to health: implications of transport policies. **British Medical Journal**, British Medical Association, 1999.

DRISCOLL, Tim, et al. **Occupational carcinogens: assessing the environmental burden of disease at national and local levels**. Geneva, World Health Organization, Environmental Burden of Disease Series, Nº 6, 2004.

FARIA, Marcília de A. M. et al. Mortalidade por câncer na região urbano-industrial da Baixada Santista, SP (Brasil). **Rev. Saúde Pública**, vol.33, n.3, 1999, p.255-261.

FISCHLOWITZ-ROBERTS, Bernie. Poluição atmosférica mata três vezes mais que o trânsito. **Eco 21**, Rio de Janeiro: v13, n.75, 2003, p. 28-30.

GARSHICK, Eric et al. **Quantitative Assessment of Lung Cancer Risk from Diesel Exhaust Exposure in the US Trucking Industry: A Feasibility Study**. Boston. HEI - Health Effects Institute, 2002.

GOES, Roberto Charles. **Toxicologia Industrial – Um guia prático para prevenção e primeiros socorros**, Rio de Janeiro: Revinter, 1997, 250 p.

GOMES, Maria João Marques. Ambiente e Pulmão. **Jornal de Pneumologia**, São Paulo: v. 28, n. 5, 2002.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Por um transporte sustentável – documento de discussão pública**. Secretaria de Meio Ambiente, São Paulo: 1997, 227 p.

HAINES, Andy. Fossil fuels, transport, and public health: policy goals for physical activity and emission controls point in the same way. **British Medical Journal**, British Medical Association, 2000.

HEI - Health Effects Institute. **Diesel exhaust: a critical analysis of emissions, exposure and health effects. A special report of the Institute's Diesel Work Group**. Cambridge, MA, 1995.

HEI - Health Effects Institute. **Research Directions to Improve Estimates of Human Exposure and Risk from Diesel Exhaust**. Cambridge, MA, 2002.

HOLGATE, Stephen T et al. **Health Effects of Acute Exposure to Air Pollution Part I: Healthy and Asthmatic Subjects Exposed to Diesel Exhaust**. Boston: HEI - Health Effects Institute, Report 112, 2002.

JAMMES, Yves. Long-term exposure of adults to outdoor air pollution is associated with increased airway obstruction and higher prevalence of bronchial hyperresponsiveness. **Environmental Health**, Heldref Publications, 1998.

JUVIN, Phillippe et al. Diesel particles are taken up by Alveolar type II tumor cells and alter cytokines secretion. **Environmental Health**, Heldref Publications, 2002.

KILBURN, Kaye H. Effects of Diesel Exhaust on Neurobehavioral and Pulmonary Functions. **Environmental Health**, Heldref Publications, 2000.

LEMLE, Alfred. A Bronquite Crônica Ocupacional Existe. **Ars Curandi – Clínica Médica**, vol. 31, n.9, 1998, p.19-24.

LORA, Eduardo Silva. **Prevenção e Controle da Poluição nos Setores Energético, Industrial e de Transporte**, São Paulo: ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, 2000.

LOVERIDGE, Keith. **Local Government Action to Reduce the Effects of Diesel Emissions in Urban Environments**. Australia: CCP. <http://www.iclei.org/ccp-au/materials.htm>. Acesso em 2001.

MEDRADO-FARIA, Marcilia de A., et al. Mortalidade por câncer do sistema nervoso em uma área industrializada do Brasil 1980-1993. **Arq. Neuro-Psiquiatr.** vol.58, n.2B, 2000, p.412-417.

MENDES, René (1997). **Patologia do Trabalho**. Rio de Janeiro: Atheneu.

NIOSH – National Institute for Occupational Safety and Health. **Carcinogenic Effects of Exposure to Diesel Exhaust**, 1988.

NOGUEIRA, Diogo Pupo; MONTORO, Antonio Franco. **Meio Ambiente e Câncer**, São Paulo: CNPq/T. A. Queiroz, 1983, 261 p.

NRDC - Natural Resources Defense Council. **Exhausted by Diesel - How America's Dependence on Diesel Engines Threatens Our Health**, 1998.

ONU – Organização das Nações Unidas. **Segurança Química: fundamentos de toxicologia aplicada e características dos riscos causados por agentes químicos**. Programa Internacional de Segurança Química, São Paulo: Fundacentro, 1994, 97 p.

PATNAIK, Pradyot. **Guia Geral – Propriedades nocivas das substâncias químicas**. Belo Horizonte: Ergo, vol.1, 2002, 568 p.

PEREIRA NETTO, Annibal D., et al. Avaliação da contaminação humana por hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) e seus derivados nitrados (NHPAs): uma revisão metodológica. **Quím. Nova**, vol.23, n.6, 2000, p.765-773.

PERICO, Andrea. Assessment of exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons in police in Florence, Italy, through personal air sampling and biological monitoring of the urinary metabolite 1-hydroxypyrene. **Environmental Health**, Heldref Publications, 2001.

RIO, Evani Marzagão Berings et al. Mortalidade por asma no município de São Paulo, Brasil. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo: v.36, n. 2, 2002, p. 149-54.

SANT'ANNA, José Paulo. Biodiesel alimenta motor da economia, **Química & Derivados**, São Paulo: Editora QD, Ano XXXVIII, n. 44, 2003.

SEGURANÇA E MEDICINA DO TRABALHO, **Manuais de Legislação Atlas**, Portaria 3.214/78 do Ministério do Trabalho, NR-15 – Anexo 13, 51. ed., São Paulo: Atlas, 2002, 700 p.

SIMON, Jamil Luiz. Poluição do ar de veículos automotores – tutela penal. **Revista de Direito Ambiental**, São Paulo: Editora Revista dos Tribunais, ano 8, n. 30, 2003, p. 85-97.

SOLOMON, Gina M. et al. **No Breathing in the Aisles – Diesel exhausted inside School Buses**, California: NRDC – Natural Resources Defense Council, 2001.

STONE, Vicki et al. Investigating the Potential for Interaction between the Components of PM<sub>10</sub>. **Environmental Health and Preventive Medicine** 7, 2003, p.246–253.

UCKO, David A. **Química para as ciências da saúde**, 2. ed., São Paulo: Manole, 2001, 646 p.

U.S. Department of Health and Human Services. **Report on Carcinogens, Eleventh Edition**; Public Health Service, National Toxicology Program, 2004.

WHO - World Health Organization, **Diesel Fuel and Exhaust Emissions**, International Programme on Chemical Safety, Environmental Health Criteria 171, Geneva: 1996.

*Sites consultados:*

CETESB: [www.cetesb.sp.org.br](http://www.cetesb.sp.org.br)

EPA - Environmental Protection Agency: [www.epa.gov](http://www.epa.gov)

Greenpeace: [www.greenpeace.org](http://www.greenpeace.org)

HEI - Health Effects Institute: [www.healtheffects.org](http://www.healtheffects.org)

IARC - International Agency for Research on Cancer: [www.iarc.fr/index./html](http://www.iarc.fr/index./html)

IPCS - International Programme on Chemical Safety: [www.inchem.org](http://www.inchem.org)

SCIELO - Scientific Eletronic Library Online: [www.scielo.br](http://www.scielo.br)