

Energia, Sustentabilidade e Cidadania: Algumas Reflexões sobre as Opções Energéticas do Brasil, Vistas sob o Prisma de um Médico

Energy, Sustainability and Citizenship: Reflections on Brazilian Energetic Options Through a Doctor's Prism

Paulo Saldiva

Faculdade de Medicina da USP; São Paulo, SP, Brasil

Considerações Iniciais

O homem é o objeto central dos processos de prospecção e comercialização da indústria de petróleo, gás e combustíveis renováveis. A disponibilidade de energia capaz de ser armazenada e “empacotada” em tanques de combustível ou tambores de gás abriu ao homem as portas da mobilidade mecanizada e de geração de eletricidade. Os hidrocarbonetos presentes no petróleo permitiram o desenvolvimento de novos produtos e compostos que modificaram o formato e eficiência de diversos utensílios e a produção de novos medicamentos. Mais importante, a disponibilidade de energia e novos compostos fez com que novos comportamentos e atitudes de consumo fossem incorporados pela sociedade dos homens, gerando hábitos que demandam uma produção de energia cada vez maior.

O cenário acima exposto fez com que hoje nos defrontemos com algumas questões de extrema relevância para a saúde humana e sustentabilidade do planeta. Em nosso entender, os pontos importantes a merecer atenção podem ser assim apresentados:

- a) Quais são as alternativas energéticas que permitem conciliar o aumento da necessidade de energia da parte da sociedade com aspectos de eficiência, preço e sustentabilidade? A concentração da produção de petróleo e gás em algumas regiões críticas do planeta tem provocado uma série de tensões nas últimas décadas, com impactos nos preços destes produtos no mercado internacional. Um elenco ampliado de alternativas energéticas factíveis é o melhor antídoto para estas dificuldades.
- b) Quais as fontes energéticas que promovem menor impacto ambiental, seja em escala global (minimizando os efeitos climáticos) como em escala regional (minimizando os efeitos adversos da exploração e emissões)? O aquecimento global pelas emissões de CO₂ e metano é uma questão que saiu da esfera técnica da academia e da indústria, para atingir o cotidiano do cidadão comum. O mesmo se pode dizer dos efeitos

adversos das emissões veiculares, que tem sido objeto de uma política de controle cada vez mais restritiva, visando preservar a saúde humana. Em consequência a estes problemas, gerados pela queima de combustíveis derivados de petróleo e gás, cresce na sociedade um sentimento que visa a redução das emissões de poluentes por fontes fixas e móveis, que terá implicações futuras no mercado destes combustíveis. É importante frisar que, no nível tecnológico presente e para a maior parte das aplicações do petróleo e gás (e seus derivados), uma redução significativa das emissões não pode ser obtida somente através da melhoria tecnológica do processo industrial ou da engenharia dos motores, mas, necessariamente, deve considerar a composição do combustível como fator determinante. Um exemplo claro é representado pelos veículos diesel, onde a tecnologia de catalisadores é dependente da formulação do combustível.

- c) Como transformar o processo de produção de energia em um dos instrumentos que auxiliem a obtenção de uma equidade sócio-econômica entre nações ricas e pobres, como também reduzam os contrastes sociais e de saúde dentro de uma mesma nação? A produção de energia é uma fonte de riqueza. O desenvolvimento de novas fontes de energia, que ampliem os horizontes geográficos da produção de combustíveis, poderá levar ao desenvolvimento sócio-econômico de regiões menos favorecidas. Os combustíveis derivados da biomassa representam uma das alternativas para a expansão das fronteiras da produção de energia e riqueza, tanto em escala global (como no caso dos países da África) como em nosso país.

O conjunto de situações acima expostas indica claramente que homem e a indústria de produção de petróleo, gás e seus derivados criaram vínculos que, de tão íntimos, selaram os seus destinos em um pacto implícito. O futuro do homem depende de produção de fontes crescentes de energia limpa e sustentável. O futuro do mercado de energia vai depender da sua capacidade de atender aos anseios do homem por fontes que assegurem a estabilidade climática do planeta, o menor dano possível à saúde humana e que conduzam a um futuro com menor desigualdade sócio-econômica.

Recebido em 20/12/2007

Aceito em 25/01/2008

Endereço para correspondência: Dr. Paulo Saldiva. Av. Dr. Arnaldo, 455, Cerqueira César. 01246-903. São Paulo, SP, Brasil. Tel (11) 3066-7234. Endereço eletrônico: pepino@usp.br.

Gazeta Médica da Bahia

2008;78 (Suplemento 1):59-64.

© 2008 Gazeta Médica da Bahia. Todos os direitos reservados.

Poluição do Ar e Saúde

A qualidade do ar das Regiões Metropolitanas do Brasil vem apresentando uma substancial melhora nas últimas décadas. Um dos instrumentos para a melhoria da qualidade do ar foi, sem dúvida, a implementação de um programa de controle de emissões veiculares de longo prazo, o Proconve. Considerando que o meio ambiente urbano é o *habitat natural* mais característico de veículos motorizados, a exposição de grande número de indivíduos a poluentes atmosféricos é uma situação inevitável. Mesmo os mais ferrenhos admiradores de veículos concordam que a inalação de gases de emissão automotiva não faz bem à saúde. Apesar deste consenso, o fator saúde é raramente levado em conta quando da definição de políticas de combustível ou transporte. Por exemplo, o programa de etanol combustível foi implementado em nosso País devido aos seus aspectos econômicos e não propriamente pelos seus efeitos sobre a saúde. Na verdade, nunca houve um estudo de impacto ambiental que levasse em conta os efeitos da produção e das emissões veiculares para a implementação do novo combustível, bem como quando as suas proporções de adição à gasolina foram alteradas desde o início da produção de veículos movidos a etanol. Esta mesma despreocupação também ocorre quando da definição do uso e ocupação do solo no cenário urbano. Drásticas modificações de rotas de tráfego podem, por vezes, afetar regiões residenciais, sem que se leve em conta a exposição da população nas áreas de maior impacto. É até certo ponto interessante notar que este tipo de despreocupação não ocorreria caso houvesse a iniciativa da montagem de uma nova indústria ou de uma usina termelétrica no espaço urbano. Esta situação parece indicar que não nos sentimos ameaçados pelos veículos, que são, em última análise, objetos de desejo e não de ameaça.

Uma vez reconhecido o íntimo compartilhamento de espaço entre veículos (e suas emissões tóxicas) e a população urbana, torna-se defensável argumentar a favor de os efeitos à saúde humana devem fazer parte das políticas de transportes, de combustíveis, de engenharia veicular, de ocupação do espaço urbano, enfim, de todos os aspectos que regulam o tráfego e emissões de automotores no cenário urbano. Há, todavia, que se reconhecer que a tarefa não é trivial.

Os efeitos à saúde da população devido à exposição a poluentes ambientais são diversos, exibindo diferentes intensidades e manifestando-se com diferentes tempos de latência: efeitos comportamentais e cognitivos, inflamação pulmonar e sistêmica, alterações do calibre das vias aéreas, do tônus vascular e do controle do ritmo cardíaco, alterações reprodutivas, morbidade e mortalidade por doenças cardio-respiratórias e aumento da incidência de neoplasias, entre outros. Dada a multiplicidade de desfechos possíveis, é necessária a definição, de forma objetiva, de efeito adverso à saúde. A partir desta definição, é possível selecionar quais são os eventos úteis para se determinar o impacto que alguma modificação ambiental terá sobre a população exposta.

Embora o conceito de efeito adverso ou prejudicial sobre a saúde humana seja amplamente utilizado para a definição de medidas de avaliação de risco ou de gestão ambiental, uma definição precisa sobre os limites existentes entre um achado com significância estatística e uma alteração que acarrete um prejuízo relevante para a saúde ainda carece de um melhor esclarecimento.

A definição mais amplamente adotada para caracterizar um efeito adverso à saúde tem sido aquela preconizada pela American Thoracic Society (1995), que define agravo à saúde “como um evento médico significativo, caracterizado por um ou mais dos seguintes fatores: 1) interferência com a atividade normal dos indivíduos afetados; 2) doença respiratória episódica; 3) doença incapacitante; 4) doença respiratória permanente; 5) disfunção respiratória progressiva”.

No ano de 2000, à luz dos novos conhecimentos científicos, a Sociedade Americana de Doenças Torácicas expandiu o escopo de sua definição anterior, incorporando os seguintes eventos: biomarcadores, qualidade de vida, alterações fisiológicas, sintomas, aumento de demanda por atendimento médico e, finalmente, mortalidade (AMERICAN THORACIC SOCIETY, 2000). Mais recentemente, em 2004, a Sociedade Americana de Cardiologia (BROOK *et al.*, 2004) publicou um documento reconhecendo a poluição atmosférica com um fator de risco para o agravamento de doenças cardiovasculares, notadamente infarto agudo do miocárdio, insuficiência cardíaca congestiva e desenvolvimento de arritmias.

Estudos realizados com dados da American Cancer Society (POPE *et al.*, 2002) incluem neoplasias pulmonares como um indicador de efeitos da poluição atmosférica. Finalmente, alterações reprodutivas, tais como baixo peso ao nascer, abortamentos e alterações da relação de sexos ao nascimento também foram incorporados ao conjunto de indicadores de efeitos prejudiciais significantes da poluição do ar.

Do acima exposto, podem ser relacionados diferentes efeitos adversos da poluição do ar sobre a saúde humana, alguns deles manifestando-se de forma aguda – horas ou dias após a exposição – enquanto outros são evidenciados somente após longos períodos de exposição – os chamados efeitos crônicos. Tantos os efeitos agudos como os efeitos crônicos podem exibir diferentes níveis de gravidade, abrangendo uma gama de efeitos que oscilam do desconforto vago até (como desfecho de maior gravidade) a morte. Alguns exemplos talvez auxiliem a aclarar melhor estas idéias. Quando do aumento da poluição do ar, uma grande fração da população apresentará alterações cognitivas ou irritabilidade não específicas. Uma menor proporção dos indivíduos expostos apresentará um aumento de marcadores plasmáticos e pulmonares de inflamação, indicando a presença de inflamação subclínica. Em uma proporção menor, esta inflamação poderá acarretar alterações funcionais, como aumento da pressão arterial, discreto distúrbio do controle autonômico do coração ou queda de indicadores de função pulmonar. Em um nível de gravidade maior, indivíduos que utilizam medicação cronicamente para o controle de doenças respiratórias e

cardíacas (asma e hipertensão arterial, por exemplo), necessitarão maior quantidade de medicamento para controlar a sua doença. Haverá aqueles que, incapazes de controlar as alterações por si próprios, procurarão o médico para consultas ou, nos casos mais graves, serão internados em pronto-socorros ou hospitais. Finalmente, uma parte dos afetados morrerá no dia ou em poucos dias após, em virtude dos efeitos da poluição a que foram expostos

Como a maior parte dos estudos que avaliam os efeitos agudos da poluição utiliza desfechos graves como internações respiratórias e mortalidade, é provável que os coeficientes relacionando prejuízo à saúde humana com poluição atmosférica estejam subestimando os efeitos reais, dado que eventos que comprometem a qualidade de vida, tais como comprometimento do controle de doenças crônicas, não são computados pela inexistência de notificação compulsória dos mesmos.

Estudos de longa duração, com acompanhamento de grupos populacionais por períodos de tempo prolongados, levaram ao reconhecimento de efeitos da poluição que se traduzem apenas após anos de exposição. Assim como o cigarro manifesta os seus efeitos após anos de consumo tabágico, a poluição repete, em menor escala, alguns dos seus efeitos crônicos. A Tabela 1 apresenta a relação de alguns dos efeitos crônicos da poluição do ar.

A definição de efeito adverso à saúde deve ser, necessariamente, acompanhada da caracterização dos grupos mais suscetíveis. O aumento da suscetibilidade aos poluentes é dependente de fatores individuais, de moradia e sócio-econômicos. Entre os fatores de natureza individual os mais importantes são idade, morbidades associadas e características genéticas. Os extremos da pirâmide etária têm sido consistentemente apontados como alvos preferenciais da ação adversa dos poluentes atmosféricos, especialmente nos segmentos abaixo dos 5 e acima dos 65 anos de idade. Morbidades associadas, tais como asma, bronquite crônica, doença aterosclerótica, diabetes mellitus, miocardiopatias e arritmias cardíacas estão entre as condições patológicas sabidamente predisponentes da suscetibilidade aos efeitos dos poluentes atmosféricos.

As condições de moradia afetam a dose recebida e, conseqüentemente, a suscetibilidade aos poluentes. Nos grandes centros urbanos, existem áreas onde a geração e dispersão dos poluentes favorece que os níveis ambientais de poluição sejam significativamente maiores do que a média urbana. Áreas vizinhas aos grandes corredores de tráfego, os baixos dos urbanos, regiões sujeitas a constantes congestionamentos, são pontos que condicionam maior risco aos seus habitantes. Por exemplo, medidas de material particulado de diâmetro inferior a 2,5 µm realizadas sob o elevado Costa e Silva (o popular minhocão), em São Paulo, revelam valores 3 vezes superiores à média da cidade.

O tipo de construção também afeta o grau de penetração dos poluentes no interior das residências. Construções mais antigas e desprovidas de condicionamento de ar tendem a

apresentar maior grau de penetração dos poluentes atmosféricos.

Condições sócio-econômicas também interferem com a suscetibilidade aos poluentes atmosféricos. Na cidade de São Paulo, foi demonstrado que, dada uma mesma variação de poluição ambiental (expressa em termos de MP10), a mortalidade será maior nos bairros com piores indicadores sócio-econômicos. A Figura 1 mostra um exemplo desta situação, mostrando o incremento porcentual de mortalidade para idosos com idade acima de 65 anos em diferentes regiões da cidade de São Paulo, em função diferenciadas por indicadores sócio-econômicos (no caso, fração da população com educação de nível superior). Como pode ser evidenciada na Figura 1, a região mais carente apresenta incremento de mortalidade aproximadamente 6 vezes maior do que o observado na área mais desenvolvida.

Os fatores que determinam a maior vulnerabilidade da população menos favorecida frente aos poluentes atmosféricos podem ser divididos em 2 grandes grupos: eventos pertinentes às condições de saúde e acesso a cuidados e medicação, e condições que favorecem uma maior exposição aos poluentes.

No primeiro grupo, é sabido que a população mais carente apresenta condição de saúde mais precária, devido a problemas de saneamento, nutrição, acesso a serviços médicos e menor poder de compra de medicamentos quando da instalação de uma doença. O segundo grupo – maior exposição – tem sido reconhecido como um fator relevante na relação entre poluição do ar e saúde. A relação entre exclusão social e maior exposição aos poluentes ocorre tanto em níveis continentais, como dentro de cada comunidade. Processos industriais mais “sujos”, veículos com tecnologia menos desenvolvida, combustíveis com maiores teores de contaminantes, são eventos reconhecidamente mais freqüentes nos países em desenvolvimento. Em menor escala, dentro de uma mesma comunidade, é comum o fato de que as profissões que levam a uma maior exposição aos poluentes (trabalhadores de rua, por exemplo) sejam exercidas pelos segmentos mais carentes da população. Da mesma forma, moradias nas bordas de vias com alto tráfego, e a utilização de lenha ou resíduos para a preparação de alimentos são eventos mais comuns aos grupos menos favorecidos. Desta forma, a maior vulnerabilidade dos segmentos de menor poder econômico aos poluentes atmosféricos é determinada tanto pelas piores condições basais de saúde e acesso aos instrumentos de saúde, como também por uma maior exposição à poluição.

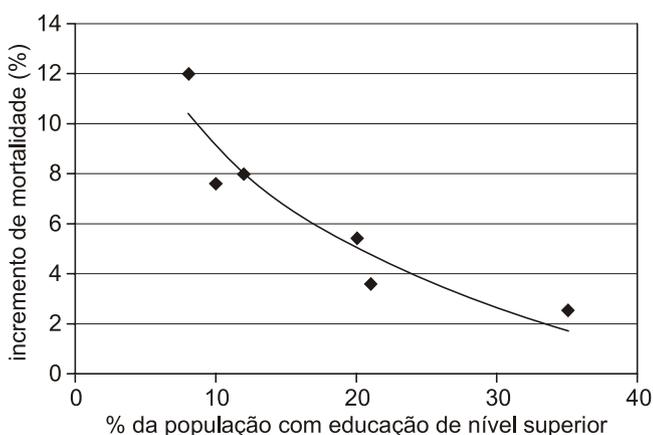
O material particulado é o poluente atmosférico mais consistentemente associado a efeitos adversos à saúde humana. A toxicidade do material particulado depende de sua composição e diâmetro aerodinâmico. Composição e diâmetro das partículas poluentes estão relacionados, como demonstrado na Figura 2.

A Figura 3 mostra o aspecto de partículas ambientais (partículas totais em suspensão), coletadas em filtro de nitrocelulose, mostrando uma grande variação de sua morfologia.

Tabela 1. Relação de alguns dos desfechos secundários à exposição crônica aos poluentes atmosféricos mais consistentemente relatados pela literatura médica.

Aumento de sintomas respiratórios	Agravamento de arteriopatia aterosclerótica
Redução da função pulmonar	Perda de anos de vida doenças cardio-respiratórias
Maior incidência doença pulmonar obstrutiva	Aumento da frequência de abortamentos
Maior incidência de neoplasias pulmonares	Redução do peso ao nascer

Figura 1. Variação do incremento de mortalidade para uma variação inter-quartil de MP10 em diferentes regiões da cidade de São Paulo, diferenciadas por nível sócio-econômico (no caso, fração da população com educação de nível superior) (MARTINS *et al.*, 2004).



A composição química das partículas ambientais revela a presença de espécies químicas com potencial para a promoção de agravos à saúde humana. A Figura 4 revela as concentrações de alguns metais pesados, presentes no material particulado da cidade de São Paulo.

A Figura 5 apresenta também as concentrações de alguns hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, com potencial carcinogênico, medidas também em partículas ambientais de São Paulo.

Como pode ser depreendido das informações acima, a composição das partículas ambientais interfere de forma significativa com a sua toxicidade. Este é um ponto que merece reflexão, visto que a legislação ambiental estabelece padrões de qualidade do ar somente em termos de sua concentração em massa. No entanto, há que se considerar que partículas de emissões de veículos diesel apresentam potencial tóxico significativamente maior do que a mesma massa de aerossol marinho, por exemplo:

- Os efeitos do MP sobre a contagem de óbitos ocorrem antes que os limites atuais de qualidade do ar sejam ultrapassados;
- O tempo de latência para que ocorra o aumento de mortalidade é bastante curto, não ultrapassando poucos dias;

- Não parece existir uma dose de segurança em que possa ocorrer um incremento do MP sem que o mesmo se reflita em aumento de mortalidade. Em outras palavras, mesmo pequenas variações de MP são traduzidas por aumentos correspondentes de mortalidade;
- Os grupos populacionais mais significativamente afetados pelo material particulado são fetos, crianças abaixo dos 5 anos de vida e idosos.

Figura 2. Esquema representando os diâmetros aerodinâmicos do material particulado e sua composição origem mais provável.

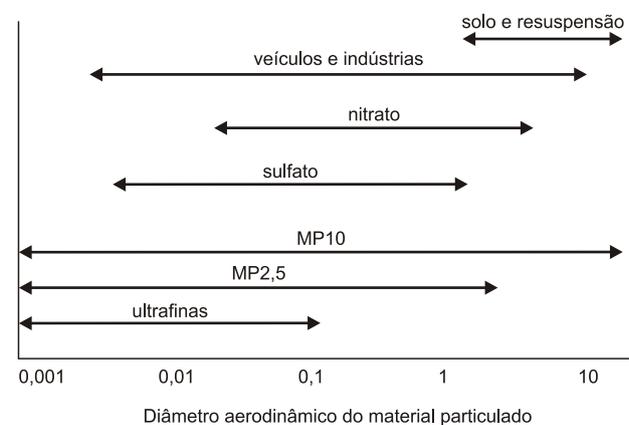
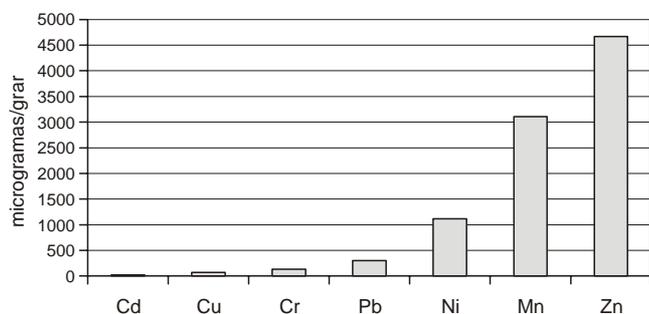


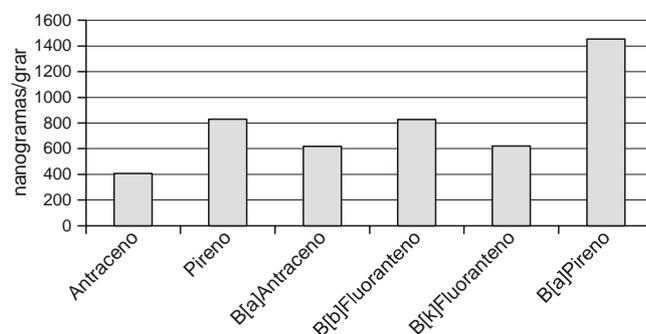
Figura 4. Concentração de alguns metais pesados com potencial tóxico presentes no material particulado urbano de São Paulo.



- Algumas doenças predisõem a uma maior suscetibilidade aos efeitos adversos do MP: doença pulmonar obstrutiva crônica, insuficiência cardíaca congestiva e miocardiopatia isquêmica;
- Fatores sócio-econômicos influenciam a suscetibilidade ao MP, dados que o seu impacto em termos de mortalidade será tanto maior quanto menor o índice de desenvolvimento social e econômico da população exposta;
- Os mecanismos que regulam as mortes respiratórias e cardiovasculares são aparentemente distintos. A mortalidade por doenças respiratórias parece depender da indução de um estado inflamatório pulmonar, com prejuízo das defesas respiratórias contra agentes infecciosos inalados. A mortalidade por doenças cardiovasculares está mais associada a distúrbios do controle autonômico do coração ou alterações dos fatores de coagulação.

Os efeitos crônicos também têm sido demonstrados a partir da detecção de alterações estruturais dos pulmões de indivíduos que habitam regiões com concentrações de MP. A primeira demonstração clara de que os níveis de MP promovem alterações inflamatórias difusas do trato respiratório em humanos veio de estudos de nosso grupo (SOUZA, 1998), onde foram detectados hiperplasia mucosecretora, remodelamento com fibrose das pequenas vias aéreas e lesão da região centro acinar de jovens falecidos por causas externas e habitantes da região metropolitana de São Paulo. Neste mesmo estudo, as lesões observadas estavam em íntima relação anatômica com focos de deposição e retenção de material carbonáceo (antracose), sugerindo uma relação de causa e efeito. Posteriormente, as mesmas observações foram relatadas por outros dois grupos de pesquisadores (CHURG, 2000; PINKERTON, 2000). Os estudos realizados em pulmões de humanos também foram claros em determinar que a quantidade de MP retido nos pulmões parece ser um indicador preciso da dose acumulada de exposição a este material, constituindo-se em um “banco de memória” das fontes poluidoras que produziram os elementos tóxicos acumulados. Mais ainda,

Figura 5. Concentrações de alguns hidrocarbonetos policíclicos aromáticos com potencial carcinogênico, presentes nas partículas ambientais do centro de São Paulo.



é fato conhecido que as parte das partículas de antracose inaladas são transferidas para outros compartimentos (linfático, sanguíneo e outros tecidos). Qualquer patologista habituado à atividade de autópsia reconhece pontos de deposição antracótica na pleura, no diafragma, e em linfonodos torácicos e abdominais. Também é amplamente conhecido o achado de nódulos silicóticos em outros órgãos que não os pulmões, bem como a translocação de fibras de amianto para a cavidade peritoneal. Componentes solúveis aderidos ao MP proveniente da fumaça do tabaco alcançam a circulação e estão associados ao desenvolvimento de neoplasias em diversos órgãos além dos pulmões. Desta forma, é plausível postular que o MP sirva de veículo transportador para que elementos tóxicos a ele aderidos penetrem nos espaços aéreos distais e sejam liberados, a partir dos pulmões, para diferentes compartimentos do organismo humano, favorecendo o desenvolvimento de doenças crônicas na espécie humana.

A Tabela 2 mostra os coeficientes que relacionam exposição crônica a material particulado (aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{MP}_{2,5}$) e mortalidade por doenças respiratórias, cardiovasculares e câncer do pulmão, obtidos pelo estudo de seguimento de cerca de 500.000 pessoas de diferentes regiões da América do Norte por 21 anos (POPE *et al.*, 2002).

O estudo de Pope *et al.* (2002) indica claramente que a mortalidade por doenças cárdio-respiratórias e o câncer do pulmão está associada à exposição prolongada ao

Tabela 2. Coeficientes relacionando aumento de mortalidade por diferentes causas a exposição crônica a $\text{MP}_{2,5}$. Os coeficientes foram calculados para um aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{MP}_{2,5}$ (POPE *et al.*, 2002).

Mortalidade	% de aumento (IC)
Todas as causas	1,06 (1,02 – 1,4)
Cardiopulmonar	1,09 (1,03 – 1,16)
Câncer do pulmão	1,14 (1,04 – 1,23)
Outras causas	1,01 (0,95 – 1,04)

material particulado, especialmente a sua fração mais fina (MP2,5). Como resultado do aumento destas doenças ocorre uma redução da expectativa de vida, como demonstrado pelo estudo das seis cidades Norte-Americanas conduzido por Dockery e colaboradores (1996) (Figura 6).

Os resultados demonstrados na Figura 6 indicam que a expectativa de vida decresce em aproximadamente um ano e meio para cada 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP2,5, devido a doenças cardíaco-pulmonares e câncer do pulmão.

Figura 6. Expectativa de vida em 6 cidades americanas que exibem diferentes níveis ambientais de MP 2,5 (DOCKERY *et al.*, 1996).

