

Poluição Atmosférica e seus Efeitos na Saúde Humana

Alfesio Braga

Luiz Alberto Amador Pereira

Paulo Hilário Nascimento Saldiva

Faculdade de Medicina da USP

As grandes concentrações humanas que hoje existem na face da Terra podem ser, em muitos aspectos, comparadas com organismos vivos. Dependem de energia para se manter, metabolizam esta energia para o seu funcionamento e produzem resíduos como consequência dos seus processos vitais. Resíduos sólidos, líquidos e gasosos são produzidos por qualquer um de nós através dos processos necessários para manutenção de nossas vidas. Compete a nós fazer uso adequado de nossos recursos energéticos, manter funcionantes os nossos processos metabólicos e manter uma higiene corpórea adequada.

Da mesma forma que um organismo individual, a coletividade de indivíduos que constituem uma cidade podem ser comparados às células que compõem um organismo vivo. Todos nós incorporamos energia através de nossos alimentos, utilizamos energia para as nossas necessidades alimentares, de habitação e de transporte, e produzimos resíduos que necessitam ser eliminados de forma adequada para evitar a contaminação de nosso meio ambiente. O acúmulo destes resíduos, seja por problemas de excesso de produção dos mesmos ou por dificuldades na sua eliminação, resulta em poluição do nosso meio vivente. Desta forma, a definição de poluição a ser empregada no presente texto corresponde ao acúmulo ambiental de resíduos sólidos, líquidos ou gasosos decorrentes da atividade do homem. Fenômenos naturais (tais como erupções vulcânicas, queima espontânea de florestas, por exemplo) não serão considerados como geradores de poluição, embora possam produzir substâncias contaminantes semelhantes àquelas geradas por processos antropogênicos.

O objetivo geral deste texto é focalizar os processos que geram poluição do ar e seus efeitos à saúde. Como a história da poluição do ar, de acordo com o conceito de poluição adotada por nós, está intimamente relacionada ao uso da energia por parte do homem, será oportuno tecer algumas considerações sobre a relação homem-energia e sobre como o homem tende a se apoderar de forma ávida sobre os recursos que a natureza lhe conferiu de forma tão generosa.

Desde que surgiram os primeiros ancestrais do homem, na superfície da Terra, há aproximadamente um milhão de anos, na porção mais ao sul do continente africano, estes têm atuado de forma transformadora e, muitas vezes, predatória sobre a natureza. A partir da descoberta do fogo, aproximadamente 800 mil anos antes de Cristo, o Homem passou a contribuir

de forma atuante, porém não consciente, para a deterioração da qualidade do ar e a sofrer as conseqüências desse ato.

Olhando esta trajetória, presunçosamente, como um adulto que analisa sua infância e adolescência, pode-se até entender a imaturidade, o desconhecimento, a presunção e a irresponsabilidade com que a humanidade trilhou seus caminhos durante os séculos preocupando-se somente em extrair do planeta tudo o que lhe fosse desejado, como se a fonte fosse inesgotável. Neste contexto enquadram-se as destruições de grandes reservas florestais em todos os continentes para extração de madeiras, para a instalação de grandes áreas de agricultura, pecuária e também de cidades. A caça predatória traduziu-se na extinção ou quase extinção de um grande número de animais em todo o planeta.

No último século tem-se assistido ao apogeu da intervenção do homem sobre o planeta, com o surgimento dos motores a combustão, com a queima de combustíveis fósseis, com o surgimento das indústrias siderúrgicas e de produtos químicos. Estes processos não foram acompanhados de análises que pudessem avaliar seu impacto sobre o meio ambiental, a toxicidade dos resíduos produzidos ou os prováveis danos à saúde. Por isso, nos últimos 70 anos, temos nos deparado com os resultados desastrosos deste processo desordenado e lutado para entender o que são os resíduos dessa corrida desenvolvimentista e evitar seus efeitos deletérios para o planeta e seus habitantes.

Um dos elementos que mais tem sido agredido pelo homem é o ar. Indispensável para a vida, uma vez que não se pode deixar de respirar, provavelmente não recebeu maiores atenções pelo fato de ser abundante, invisível e inodoro. Porém, ao longo da história do progresso da humanidade, suas características foram mudando.

As primeiras preocupações com a qualidade do ar apareceram na era pré-cristã. Devido ao uso do carvão como combustível, as cidades dessa época já ostentavam ares de qualidade aquém do desejável. Esta situação veio se agravando durante os primeiros séculos da história pós-cristã, quando os primeiros atos de controle de emissão de fumaça foram baixados na Inglaterra do final do século XIII, passando pela revolução industrial e pelo crescimento das cidades.

A poluição do ar tem sido, desde a primeira metade do século XX, um grave problema nos centros urbanos industrializados, com a presença cada vez maior dos automóveis, que vieram a somar com as indústrias, como fontes poluidoras. Episódios de poluição excessiva causaram aumento do número de mortes em algumas cidades da Europa e Estados Unidos. O primeiro episódio ocorreu em 1930, no vale de Meuse, Bélgica, entre as cidades de Huy e Liège, uma região com grande concentração de indústrias, sendo quatro siderúrgicas, três metalúrgicas,

quatro centrais de produção de energia elétrica e suas minas de carvão, seis indústrias de cerâmica e vidro que utilizavam fornos a carvão ou gasogênio, três indústrias de cimento, três indústrias de transformação química de minerais, uma carvoaria, uma fábrica de pólvora, uma fábrica de ácido sulfúrico e uma fábrica de adubos, distribuídas em uma faixa de aproximadamente vinte quilômetros de comprimento. Nos cinco primeiros dias do mês de dezembro, condições meteorológicas desfavoráveis, como a ausência de ventos, impediram a dispersão dos poluentes, que permaneceram estacionados sobre a região. Imediatamente foi registrado um aumento do número de doenças respiratórias e um excesso de mortes (60 mortes) até dois dias após o início do episódio.

Alguns anos após, um episódio semelhante ao ocorreu durante os últimos cinco dias do mês de outubro de 1948 na cidade de Donora, Pensilvânia. Os produtos da combustão das indústrias locais permaneceram sobre a cidade devido à ocorrência de inversões térmicas que impediram a dispersão destes poluentes. Inversão térmica é um fenômeno meteorológico onde ocorre a presença de uma camada de ar frio alguns metros acima da superfície que impede a dispersão e a movimentação de massas de ar mais quentes localizadas próximas do solo. Essa camada mais fria age como se fosse a tampa de uma panela concentrando vapor no seu interior. Durante este período foram observadas 20 mortes ao invés das duas mortes esperadas normalmente em uma comunidade de 14.000 pessoas.

Porém o mais clássico, e mais grave, dos episódios acerca dos efeitos deletérios dos poluentes do ar foi o acontecido em Londres. Durante o inverno de 1952, um episódio de inversão térmica impediu a dispersão de poluentes, gerados então pelas indústrias e pelos aquecedores domiciliares que utilizavam carvão como combustível, e uma nuvem, composta principalmente por material particulado e enxofre (em concentrações até nove vezes maiores do que a média de ambos), permaneceu estacionada sobre a cidade por aproximadamente três dias, levando a um aumento de 4.000 mortes em relação à média de óbitos em períodos semelhantes.

Indiscutivelmente, estes trágicos episódios direcionaram os olhos dos pesquisadores para a necessidade de se buscar o controle da emissão de poluentes do ar.

Em 1955, o Congresso norte-americano liberou cinco milhões de dólares para a realização de estudos sobre o impacto da poluição atmosférica sobre a saúde e a economia. Ações de controle ambiental não eram a pauta de discussão até aquele momento. Só a partir do início da década de 60, foi criado um programa federal de poluição atmosférica, ligado ao Departamento de Saúde Educação e Bem Estar Social dos Estados Unidos da América (EUA). Esse programa

delegou a responsabilidade do controle da emissão dos diversos poluentes atmosféricos aos Estados da Federação, ficando a cargo do Governo Federal somente o estabelecimento das diretrizes necessárias para efetuar e viabilizar esse controle. Contudo, tal medida mostrou-se ineficaz, já que vários estados não estavam preparados e estruturados para a realização dessas ações controladoras. Novos episódios de aumento súbito da poluição ocorreram, um deles em Nova York, durante quatro dias de novembro de 1966, onde foram necessárias oito mortes e forte pressão da mídia, para que se decretasse estado de emergência.

Diante desses novos episódios, ainda na década de 60, os Estados Unidos estabeleceram padrões de qualidade do ar, especificando os seis poluentes atmosféricos que seriam controlados, quais sejam: partículas totais, dióxido de enxofre (SO_2), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrogênio (NO_2), ozônio (O_3) e chumbo (Pb). A fim de efetivar esse controle, criou-se a Agência de Proteção Ambiental norte-americana (EPA). Várias medidas de controle foram, então, implantadas, visando não só atingir as fontes de emissão móveis, como também as estacionárias. Em 1990, foram conferidos à EPA poderes para determinar os critérios técnicos de controle das substâncias tóxicas, com base nos seus efeitos à saúde. Vários estudos epidemiológicos e experimentais contribuíram consideravelmente para a implantação desses controles, bem como para a elaboração de manuais de orientação. Porém, ainda que aprimoradas ao longo dos anos, tais medidas de controle não foram suficientes. Em 1991, aproximadamente oitenta e sete milhões de pessoas nos Estados Unidos permaneciam expostas a níveis superiores aos padrões de qualidade do ar estabelecidos pela legislação norte.

Tabela 1 - Padrões De Qualidade Do Ar Para Os Principais Poluentes Segundo A Environmental Protection Agency (Epa) Dos Estados Unidos Da América.

Poluentes	Padrões Primários	Tempo Médio
Partículas Inaláveis (PM_{10})	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Média aritmética anual nível limite para 24 horas
Ozônio (O_3)	0,12 ppm (235 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	média de 1 hora máxima diária
Dióxido de Enxofre (SO_2)	0,03 ppm (80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 0,14 ppm (365 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	média aritmética anual nível máximo em 24 horas
Monóxido de	9 ppm (10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	média máxima de 8 horas

Carbono (CO)	35 ppm (40 µg/m ³)	nível máximo em 1 hora
Dióxido de Nitrogênio (NO ₂)	0,053 ppm (100µg/m ³)	média aritmética anual

Fonte: Bascon e cols. (1996). "Health effects of outdoor air pollution."- Am. J. Crit. Care Med. 153: 3-50.

Na Europa, o desenvolvimento de ações controladoras também foi bastante influenciado pelo episódio ocorrido em 1952 na cidade de Londres. O Parlamento Inglês, em 1956, atribuiu às autoridades locais o controle das áreas de maior risco da ocorrência de acúmulo de fumaça preta emitida pelas chaminés das residências, obrigando a troca do sistema à carvão por eletricidade, gás ou óleo diesel. Para tanto, o governo forneceu os subsídios necessários para a mudança dos sistemas de calefação para esses tipos de combustível.

Os "Clean Air Acts" de 1956 e 1968 também ampliaram os controles de emissão de poluentes atmosféricos industriais, regulamentando as emissões de óxidos de enxofre e fumaça preta. Houve uma grande resistência por parte do setor industrial em cumprir as metas de adequação e diminuição da quantidade de emissão desses poluentes.

O fato é que, ao longo dos anos, as concentrações dos poluentes foram decrescendo nas grandes cidades inglesas, parte em função de um controle social mais efetivo, mas também em decorrência do ingresso da Inglaterra no Mercado Comum Europeu. A Comunidade Européia, já no início dos anos 70, demonstrou através de propostas e discussões de medidas de controle, estar suficientemente convencida da existência de danos à saúde causados pelas altas concentrações de poluentes atmosféricos. Este fator foi fundamental para que a Inglaterra, com a sua inserção junto à Comunidade Européia em 1973, fosse obrigada a adequar-se à legislação no que tange ao controle ambiental.

Em 1976, uma comissão de países europeus (Comission of the European Communities-CEC), estabeleceu padrões de qualidade do ar para SO₂, CO, NO₂, material particulado e oxidantes foto-químicos. Esses padrões foram sendo aprimorados ao longo dos anos, subsidiando as legislações dos diversos países europeus de uma maneira uniforme.

À medida que os países desenvolvidos foram aperfeiçoando formas de controle ambiental, várias indústrias passaram a migrar para países onde a legislação e o controle fossem mais

amenos ou mesmo inexistentes. Entre as décadas de 60 e 70, inúmeros países periféricos economicamente, ávidos por novas fontes de recursos e desenvolvimento, receberam indústrias multinacionais de produtos de base, principalmente na área petroquímica. Muitas dessas indústrias tinham como sede países onde a legislação ambiental determinava que altos investimentos em tecnologia fossem efetivados, principalmente para a prevenção de possíveis acidentes ambientais.

Contudo, outros episódios envolvendo o aumento das concentrações de poluentes atmosféricos continuaram a ocorrer, mas desta vez, nos países em desenvolvimento.

Bhopal, na Índia, talvez ilustre um desses episódios, talvez o mais dramático, ocorrido na década de 80. Na noite de 3 de dezembro de 1984, um grande vazamento de metil-isocianato (MIC) proveniente da Union Carbide, indústria localizada próxima à cidade, causou a morte de, pelo menos, 1.700 pessoas devido a um intenso edema pulmonar (acúmulo de líquido no pulmão) causado pela reação exotérmica do MIC com a água do tecido pulmonar. Além das mortes, milhares de pessoas ficaram com seqüelas graves, com comprometimento irreversível da função do pulmão.

Ao longo deste século desastres ambientais continuaram ocorrendo, não obstante todos os conhecimentos acumulados acerca dos prejuízos e altos custos sociais. Mesmo nos países desenvolvidos, onde o controle ambiental é mais efetivo, existe uma contínua discussão crítica sobre os efeitos da poluição atmosférica, mesmo naquelas concentrações consideradas “seguras” pela legislação. Observa-se, também, que o rápido crescimento urbano nos países em desenvolvimento fez com que as fontes móveis ou veiculares se tornassem um problema de grande magnitude, devido ao número e estado de conservação destes veículos, muitas vezes sem o controle necessário quanto à qualidade do combustível, dos motores e mecanismos de filtragem dos gases emitidos pelos mesmos.

Há nos países desenvolvidos uma preocupação crescente com o aprimoramento de estudos usando os mais variados modelos e tendo como meta elucidar todo e qualquer questionamento. Vale ressaltar que, em tais países, o número de estudos sobre poluição atmosférica e seus efeitos deletérios à saúde, tem crescido vertiginosamente ao longo das últimas décadas, influenciando e muito nas políticas públicas de controle ambiental.

É certo, porém, que esse conhecimento científico tem influenciado o aperfeiçoamento das ações controladoras, principalmente, nos países desenvolvidos.

Principais Poluentes Atmosféricos

Material Particulado

O material particulado é uma mistura de partículas líquidas e sólidas em suspensão no ar. Sua composição e tamanho dependem das fontes de emissão. O tamanho das partículas é expresso em relação ao seu tamanho aerodinâmico, definido como o diâmetro de uma esfera densa que tem a mesma velocidade de sedimentação que a partícula em questão (DOCKERY ; POPE, 1994).

Em geral, as partículas podem ser divididas em dois grupos:

- partículas grandes, com diâmetro entre 2,5 e 30 μm de diâmetro, também chamadas “tipo grosseiro” (coarse mode), de combustões descontroladas, dispersão mecânica do solo ou outros materiais da crosta terrestre, que apresentam características básicas, contendo silício, titânio, alumínio, ferro, sódio e cloro. Pólenes e esporos, materiais biológicos, também se encontram nesta faixa;
- partículas derivadas da combustão de fontes móveis e estacionárias, como automóveis, incineradores e termoelétricas, em geral, são de menor tamanho, apresentando diâmetro menor que 2,5 μm (fine mode) e têm maior acidez, podendo atingir as porções mais inferiores do trato respiratório, prejudicando as trocas gasosas. Entre seus principais componentes temos carbono, chumbo, vanádio, bromo e os óxidos de enxofre e nitrogênio, que na forma de aerossóis (uma estável mistura de partículas suspensas em um gás), são a maior fração das partículas finas.

É oportuno salientar que a determinação da EPA para controle de partículas menores ou iguais a 10 μm (PM₁₀), também chamadas de partículas inaláveis, se baseou no fato de que estas são as partículas que podem atingir as vias respiratórias inferiores, e não na sua composição química. Este material particulado inalável apresenta uma característica importante que é a de transportar gases adsorvidos em sua superfície até as porções mais distais das vias aéreas, onde ocorrem as trocas de gases no pulmão.

Fumaça Britânica (BS) é um padrão de material particulado, utilizado nos estudos realizados na Grã-Bretanha e outros países europeus, cuja estimativa da massa é baseada em um padrão de reflexão, com partículas finas sendo mais escuras. É aceito pela EPA, como uma fração entre PM₁₀ e TSP (total de partículas em suspensão, com limite superior de 100 µm).

Estudo realizado com monitores pessoais para PM₁₀ e monitores colocados dos lados externo e interno das residências mapeou a composição do particulado domiciliar. Aproximadamente 50% do particulado no interior das casas é proveniente do ambiente externo. O restante tem origem no fumo, fogão a gás e de origem indeterminada.

À medida que vão se depositando no trato respiratório, estas partículas passam a ser removidas por alguns mecanismos de defesa. O primeiro deles é o espirro, desencadeado por grandes partículas que, devido ao seu tamanho, não conseguem ir além das narinas, onde acabam se depositando. A tosse é um mecanismo semelhante que acontece quando há a invasão do trato respiratório inferior (além da laringe) por partículas. Quando as partículas se depositam na superfície das células do trato respiratório, um outro mecanismo de defesa entra em funcionamento: o aparelho muco-ciliar. Fazem parte da superfície do aparelho respiratório células com cílios e células secretoras de muco. Os cílios permanecem constantemente em movimento, no sentido do pulmão para a boca, empurrando o muco para fora do trato respiratório. As partículas que se depositam sobre o muco também são carregadas. Um fato muito comum nos dias atuais pode servir como exemplo prático deste mecanismo. Quando um jovem (“partícula”) sobe num palco de um espetáculo de rock e se joga sobre a platéia (células do aparelho muco-ciliar) ele é carregado pela platéia por alguns metros (os braços representam o papel dos cílios que fazem este movimento em apenas um sentido). . As partículas que chegam à orofaringe podem ser deglutidas. Aquelas partículas que atingem as porções mais distais das vias aéreas são fagocitadas pelos macrófagos alveolares, sendo então removidas via aparelho muco-ciliar ou sistema linfático.

Ozônio (O₃)

O ozônio presente na troposfera, a porção da atmosfera em contato com a crosta terrestre, é formado por uma série de reações catalisadas pela luz do sol (raios ultravioleta) envolvendo, como precursores, óxidos de nitrogênio (NO_x) e hidrocarbonetos, derivados de fontes de combustão móveis, como os veículos automotivos, de fontes estacionárias, como usinas termoelétricas, e até mesmo fontes naturais como as árvores, que contribuem na produção de compostos orgânicos voláteis .

Os níveis de ozônio aumentam consideravelmente entre o fim da primavera e o começo do outono, em regiões periféricas de grandes centros urbanos, localizadas nas direções em que sopram os ventos. Caracteristicamente, seus picos de concentração ocorrem no meio da manhã, algumas horas após o rush matinal do trânsito (nível máximo de emissão de óxidos de nitrogênio), atingindo seu ápice no meio da tarde e declinando à noite.

As concentrações de ozônio nos ambientes externos são maiores que nos interiores dos edifícios, porém esta diferença pode diminuir dependendo do tipo de ventilação do local analisado. Como fonte domiciliar de ozônio podem ser citados os purificadores de ar, enquanto que nos escritórios podem haver máquinas de fotocópias.

O ozônio é um potente oxidante, citotóxico (provoca lesão das células), que atinge as porções mais distais vias aéreas.

Dióxido de Enxofre (SO₂) e Aerossóis Ácidos

Resultado da combustão de elementos fósseis, como carvão e petróleo, têm como fontes principais os automóveis e termoelétricas. Uma vez lançado na atmosfera, o SO₂ é oxidado, formando ácido sulfúrico (H₂SO₄). Esta transformação depende do tempo de permanência no ar, da presença de luz solar, temperatura, umidade e adsorção do gás na superfície das partículas. A

permanência no ar por um período grande de tempo faz com que o SO_2 e seus derivados (aerossóis ácidos) sejam transportados para regiões distantes das fontes primárias de emissão, aumentando a área de atuação destes poluentes.

O SO_2 é altamente solúvel em água à 30°C . A maior parte do SO_2 inalado por uma pessoa em repouso é absorvido nas vias aéreas superiores. Atividade física leva a um aumento da ventilação, com conseqüente aumento da absorção nas regiões mais distais do pulmão. Sua eliminação se faz, basicamente, de dois modos: pela expiração, principalmente através das narinas, e pela urina, com a eliminação na forma de sulfato e éster sulfato, de uma parte do SO_2 inalado

Dissolvidos nas gotas de água presentes na atmosfera, encontramos os aerossóis ácidos mais comuns: sulfato (SO_4^{2-}) e bissulfato (HSO_4^-). O ácido sulfúrico (H_2SO_4) é o aerossol ácido mais irritante para o trato respiratório, apresentando pH menor que um. O ácido sulfúrico e seus sais de amônia constituem a maior parte das partículas finas.

Monóxido de Carbono (CO)

Com exceção dos fumantes, que possuem suas próprias fontes emissoras de CO, os demais habitantes dos grandes centros urbanos têm no trânsito intenso a sua maior fonte deste poluente pois o automóvel é a maior fonte de emissão deste poluente. Pessoas que passam várias horas do dia dentro de um automóvel, ou que tenham que andar a pé ou de bicicleta são os mais afetados. Porém os ambientes internos, como residências e escritórios podem vir a sofrer os efeitos do CO proveniente do ambiente externo que entra pelo sistema de ventilação, ou que é produzido localmente por aquecedores a óleo, fumantes, churrasqueiras e fogão a gás.

A determinação dos níveis de carboxihemoglobina no sangue pode servir para avaliar exposição individual, uma vez que pessoas saudáveis e não fumantes, residentes em áreas de grande concentração ambiental de CO, apresentam um aumento de até 100% nos níveis de

carboxihemoglobina quando comparados a pessoas saudáveis e não fumantes que não estão expostas aos níveis de CO dos grandes centros urbanos.

O monóxido de carbono apresenta afinidade pela hemoglobina 240 vezes maior que a do oxigênio, o que faz com que uma pequena quantidade de CO possa saturar uma grande quantidade de moléculas de hemoglobina, diminuindo a capacidade do sangue de transportar O₂. Atua também, desviando a curva de dissociação da hemoglobina para a esquerda levando a uma diminuição da liberação de O₂ nos tecidos.

Óxidos de Nitrogênio (NO_x)

As principais fontes de óxido nítrico (NO) e dióxido de nitrogênio (NO₂) são os motores dos automóveis. As usinas termoelétricas e indústrias que utilizam combustíveis fósseis contribuem em menor escala. Durante a combustão sob elevadas temperaturas, o oxigênio reage com o nitrogênio formando óxido nítrico (NO), dióxido de nitrogênio (NO₂) e outros óxidos de nitrogênio (No_x). Estes compostos são extremamente reativos e na presença de oxigênio (O₂), ozônio e hidrocarbonetos, o NO se transforma em NO₂. Por sua vez, NO₂ na presença de luz do sol, reage com hidrocarbonetos e oxigênio formando ozônio (O₃), sendo um dos principais precursores deste poluente na troposfera.

Ao contrário de outros poluentes, as concentrações de NO₂ nos ambientes internos estão intimamente relacionadas com as concentrações externas, uma vez que este poluente se difunde com muita facilidade de fora para dentro das edificações através de mecanismos de ventilação. A isto se soma o fato de existirem várias fontes de NO₂ e outros óxidos de nitrogênio (No_x) dentro das residências, como fogões a gás, aquecedores que utilizam querosene (mais freqüente em regiões frias) e o cigarro.

O NO_2 , quando inalado, atinge as porções mais periféricas do pulmão devido à sua baixa solubilidade. Seu efeito tóxico está relacionado ao fato de ser um agente oxidante.

Poluição do Ar e Saúde

A convivência dos seres vivos, em especial a do homem, com a poluição do ar tem trazido conseqüências sérias para a saúde. Os efeitos dessa exposição têm sido marcantes e plurais quanto à abrangência. Em países desenvolvidos e em desenvolvimento, crianças, adultos e idosos, previamente doentes ou não, sofreram e ainda sofrem seus malefícios, como citado anteriormente. As principais fontes poluidoras, que são os veículos automotivos e as indústrias, estão presentes em todos os grandes centros urbanos. Nas últimas três décadas, o melhor conhecimento das origens, composições, comportamentos, interações e, do ponto fulcral, os mecanismos de ação desses verdadeiros inimigos da saúde pública têm mobilizado esforços e recursos tecnológicos e financeiros diversos.

Estudos observacionais têm procurado mostrar, com resultados cada vez mais significativos, efeitos de morbidade e mortalidade associados aos poluentes do ar. No entanto, para se avaliar a plausibilidade biológica destes achados, tem sido necessária a realização de estudos de intervenção e experimentais.

O aprimoramento de técnicas de análise estatística de séries temporais, o tipo de estudo ecológico predominante quando se analisa mortalidade e sua associação com poluentes, conferem confiabilidade aos resultados.

Estes novos conhecimentos têm alterado conceitos previamente existentes. A adoção dos critérios de qualidade do ar, foram baseados em conhecimentos existentes até aquele momento. Contudo, estudos mais recentes mostram que podemos encontrar efeitos graves sobre a saúde mesmo quando os poluentes se encontram dentro dos padrões de segurança.

Assim como mortalidade pode ser um marcador de efeitos sobre a saúde, parâmetros de morbidade também podem sê-lo, visto que pessoas levadas à morte, devem ter apresentado toda uma história de alterações clínicas anteriormente. Estas alterações clínicas têm sido documentadas na forma de exacerbações de sintomas respiratórios e cardiovasculares, aumento

das crises de asma e dor pré-cordial, limitação funcional, maior utilização de medicamentos, número de consultas em pronto-socorro e internações hospitalares.

Em síntese, através da análise dos estudos realizados em diversos centros urbanos, que utilizaram estes e outros desenhos epidemiológicos, pode-se concluir que:

- ◇ as concentrações de poluentes atmosféricos encontradas em grandes cidades acarretam afecções agudas e crônicas no tracto respiratório, mesmo em concentrações abaixo do padrão de qualidade do ar. A maior incidência de patologias, tais como asma e bronquite, está associada com as variações das concentrações de vários poluentes atmosféricos;
- ◇ a mortalidade por patologias do sistema respiratório apresenta uma forte associação com a poluição atmosférica ;
- ◇ as populações mais vulneráveis são as crianças, idosos e aquelas que apresentam doenças respiratórias;
- ◇ o material particulado inalável, com dimensão inferior a 10 μm e mais recentemente 2,5 μm , é apontado como o poluente mais freqüentemente relacionado com danos à saúde;
- ◇ sinais, cada vez mais evidentes, mostram ser os padrões de qualidade do ar inadequados para a proteção da população mais susceptível à poluição atmosférica. Vários estudos demonstraram ocorrência de efeitos mórbidos em concentrações abaixo dos padrões de qualidade do ar;
- ◇ a mortalidade por doenças cardio-vasculares também tem sido relacionada à poluição atmosférica urbana, sendo novamente o material particulado inalável, o poluente frequentemente associado;
- ◇ estudos experimentais e toxicológicos têm dado sustentação aos resultados encontrados em estudos epidemiológicos.

Fontes de Poluição por Autoveículos: O caso da Poluição Automotiva e o Controle da Qualidade do Ar em São Paulo

São Paulo é uma das dez maiores cidades do mundo, com aproximadamente dezesseis milhões de habitantes na Região Metropolitana (RMSP). O clima na RMSP pode ser resumido como seco no inverno e úmido no verão. De setembro a abril, a área é dominada por vento úmido do Sul e ocorrência de sistemas frontais, resultando em precipitações e nuvens de baixa altitude. Durante o inverno, formações de alta pressão no Oceano Atlântico ao leste, dirigem-se para o norte, produzindo ventos fracos provenientes da costa, fortes inversões térmicas de subsidiência e céu claro. Sua precipitação anual é de 1900 mm, com temperatura média que varia entre 15-22°C.

As duas principais fontes de emissão de poluentes são as indústrias, atualmente localizadas na RMSP, e a frota de veículos automotores que circulam pela cidade. Essa frota é responsável por grande parte da carga de poluentes emitidos na atmosfera, podendo ser estimada em mais de 4,3 milhões de veículos automotores.

A história do crescimento urbano de São Paulo tem sido marcada pela falta de priorização de transportes coletivos de qualidade. Vale lembrar que o metrô foi inaugurado somente em 1974 e, ainda hoje, atende a uma parcela pequena da população. Ao longo das décadas, o transporte individual foi se tornando uma opção natural, devido não só à insuficiência do transporte público, como também ao acesso facilitado do uso e aquisição do automóvel. Consequentemente, a proporção do número de carros por habitante cresceu de 1/40 na década de quarenta, para quase 1/2 nos anos noventa. Ocorre que, nesse período, a malha viária não acompanhou o mesmo crescimento.

Outra característica do crescimento da cidade é mudança de várias indústrias do Município de São Paulo para outros municípios. Ao longo dos anos, São Paulo foi se transformando em uma cidade predominantemente de serviços. Face a esse processo, a emissão de poluentes atmosféricos através de fontes móveis foi aumentando gradativamente, de forma bastante significativa. Pode-se dizer, aliás, que as fontes móveis são responsáveis por noventa por cento da emissão de poluentes na cidade.

A desproporção entre número de veículos circulantes e a malha viária destinada a escoar uma frota veicular que sempre cresce, fez com que a Cidade de São Paulo venha experimentando aumento progressivo de congestionamentos. A falência do transporte público, a atitude de defesa do cidadão que necessita locomoção para o seu trabalho e as facilidades crescentes para a aquisição do automóvel estão entre os fatores que muito contribuíram para que hoje o paulistano dispense mais e mais tempo para se locomover em ruas cada vez mais congestionadas. Aliás, a situação acima exposta pode ser aplicada, sem muitas adaptações, a diversas capitais do mundo, especialmente nas regiões em desenvolvimento econômico.

O cenário acima pode levar a dois caminhos: restrição à circulação de veículos, necessariamente acompanhada de um aumento da qualidade e acesso ao transporte público,

ou a realização de grandes obras viárias. Em geral, a segunda opção é a preferida pelos dirigentes das cidades, dada visibilidade política que as grandes obras e viadutos propicia a quem os contrata. No entanto, mais uma vez é válida a comparação entre uma grande cidade poluída e um organismo doente. Frente ao entupimento difuso das artérias – as ruas – de uma grande cidade, a opção é sempre uma ponte de safena. No entanto, os cardiologistas somente prescrevem uma ponte coronariana quando certificam-se que o território vascular situado após a ponte é normal. Este cuidado quase nunca é tomado pelos “planejadores” urbanos, que somente deslocam o local do estreitamento para mais adiante. Os cardiologistas também condicionam sempre à ponte de safena a adoção de hábitos mais saudáveis pelo paciente. Ao contrário, no caso das grandes cidades, realizamos pontes que estimulam cada vez mais as causas da doença: a proliferação indiscriminada do uso do solo.

Em São Paulo, assaltamos os leitos de nossos rios, retificando os seus cursos e engessando-os com asfalto ao longo de suas margens. Em resumo, realizamos um processo gigantesco de esclerose das nossas vias fluviais, que volta e meia nos cobra o preço sob a forma de inundações. Falamos do aspecto de tráfego com imensa tristeza, sem que seja necessário ainda mencionar a deterioração do conteúdo dos rios pelo esgoto, como numa septicemia incontrolável. Também não mencionamos as perdas de qualidade de vida, dada a incapacidade de utilizar um dos pontos que nossos antepassados puderam usufruir nas margens de nossos rios.

Embora tenhamos errado muito, nada aprendemos. Após a destruição dos rios e de suas cercanias, atualmente propomos a criação de um anel que vai estrangular as nossas poucas reservas de mata, fazendo com que a cidade se expanda ainda mais em seu crescimento centrífugo desenfreado. Isto tudo ocorre embora a Cidade de São Paulo tenha um histórico muito significativo de monitoramento da qualidade do ar e um conhecimento importante dos seus efeitos sobre a saúde humana.

As primeiras iniciativas para monitorar a qualidade do ar ocorreram na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) e datam do início dos anos 60. Por iniciativa dos municípios de Santo André, São Bernardo do Campo, São Caetano do Sul e Mauá, em 16 de agosto de 1960 foi firmado um convênio para o controle da poluição das águas e do ar na região, através da Comissão Intermunicipal de Controle da Poluição das Águas e do Ar (CICPAA). Entre 1960 e 1971, desenvolveu trabalho pioneiro que contou com o apoio financeiro da Organização Pan-americana de Saúde (OPAS).

Um convênio, firmado entre essas prefeituras e o Estado de São Paulo transferiu a CICPAA para a Superintendência de Saneamento Ambiental (SUSAM), órgão estadual criado em 17 de abril de 1970. Posteriormente, estas atribuições de controle da qualidade do ar e da água foram transferidas para a Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento Básico (CETESB), inicialmente um centro de tecnologia em engenharia sanitária, fundado em 1968, que com o passar dos anos veio a assumir o controle de todas as atividades relacionadas ao controle da qualidade da água, do ar e do solo no Estado de São Paulo.

A legislação federal estabelece, em relação ao controle de poluentes, dois padrões de qualidade do ar:

- padrões primários de qualidade do ar: são as concentrações de poluentes que, quando ultrapassadas, poderão acarretar danos à saúde da população;

- padrões secundários de qualidade do ar: são as concentrações de poluentes abaixo das quais se espera o mínimo efeito sobre a saúde da população, da fauna e da flora.

Essa definição, que consta de Portaria normativa do IBAMA (Instituto Brasileiro de Apoio ao Meio Ambiente) de 14 de março de 1990, e que foi transformada em resolução pelo CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) em 28 de junho de 1990, define que a curto e médio prazo, os padrões primários devem ser os desejados, e que a longo prazo, os padrões secundários devam ser objetivados.

A mesma resolução do CONAMA regulamentou os níveis dos seguintes poluentes: partículas totais em suspensão (partículas com menos de 100 μm), dióxido de enxofre, monóxido de carbono, ozônio, fumaça (fuligem) - medidas rotineiramente em outras regiões do Estado de São Paulo, excluindo-se a região metropolitana e Cubatão-, partículas inaláveis e dióxido de nitrogênio.

Como pode ser notado, os padrões primários adotados pela CONAMA são, em geral, os mesmos adotados pela EPA. Seus padrões podem ser vistos na tabela 2.

Tabela 2 - Padrões Nacionais de Qualidade do Ar, segundo Resolução CONAMA nº 3 de 28/06/90).

Poluente	Tempo de Amostragem	Padrão Primário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Padrão Secundário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Partículas Totais em Suspensão (PTS)	24 horas ①	240	150
	MGA ②	80	60
Dióxido de Enxofre	24 horas	365	100
	MAA ③	80	40
Monóxido de Carbono	1 hora ①	40.000 (35 ppm)	40.000 (35 ppm)
	8 horas	10.000 (9 ppm)	10.000 (9 ppm)
Ozônio	1 hora ①	160	160
Fumaça	24 horas ①	150	100
	MAA ③	60	40
Partículas Inaláveis (PI)	24 horas ①	150	150
	MAA ③	50	50
Dióxido de Nitrogênio	1 hora ①	320	190
	MAA ③	100	100

Fonte: CETESB (1994). "Relatório de qualidade do ar na região metropolitana de São Paulo e Cubatão - 1993."

① Não deve ser ultrapassado mais que uma vez ao ano

② MGA - média geométrica anual

③ MAA - média aritmética anual

Devido às suas características climáticas anteriormente citadas, São Paulo está sujeita, durante os meses mais frios, a episódios agudos de poluição do ar, onde as concentrações dos poluentes ultrapassam os padrões primários. A resolução nº 3 do CONAMA estabeleceu critérios para os episódios agudos de poluição do ar, com a determinação de níveis de atenção, alerta e emergência, em ordem crescente de gravidade, que são assim definidos, para os principais poluentes, e estão apresentados na tabela 3.

Tabela 3 - Critérios para Episódios Agudos de Poluição do Ar.

Parâmetros	Níveis		
	Atenção	Alerta	Emergência
Partículas Totais em			

Suspensão ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24 h	375	625	875
Dióxido de Enxofre ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24 h	800	1.600	2.100
SO ₂ X PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 24 h	65.000	261.000	393.000
Monóxido de Carbono (ppm) - 8 h	15	30	40
Ozônio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 1 h	400	800	1.000
Fumaça ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24 h	250	420	500
Partículas Inaláveis ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24 h	250	420	500
Dióxido de Nitrogênio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 1 h	1.130	2.260	3.000

Fonte: CETESB (1994). "Relatório de qualidade do ar na região metropolitana de São Paulo e Cubatão - 1993."

Baseada nos valores mensurados das concentrações dos poluentes relacionados na tabela 3, a CETESB divulga diariamente o Índice de Qualidade do Ar, desde 1981, com a finalidade de facilitar a divulgação de dados sobre a qualidade do ar. Este índice foi baseado no "PSI - Pollutant Standard Index", desenvolvido pela EPA, e dá valores adimensionais para a qualidade do ar.

Este índice classifica a qualidade do ar em seis categorias:

- Boa (0 - 50): quando as concentrações de todos os poluentes estão abaixo de 50% de seus padrões de qualidade;
- Regular (51 - 100): quando a concentração de pelo menos um dos poluentes atinge o seu padrão de qualidade;
- Inadequada (101 - 199): quando a concentração de pelo menos um dos poluentes está entre o seu padrão de qualidade e os níveis de atenção;
- Má (200 - 299): quando a concentração de pelo menos um dos poluentes está entre os seus níveis de atenção e de alerta;
- Péssima (300 - 399): quando a concentração de pelo menos um dos poluentes está entre os seus níveis de alerta e de emergência;

•Crítica (maior que 400): quando a concentração de pelo menos um dos poluentes está acima do seu nível de emergência.

Quando se realiza um “cruzamento” entre as medidas de qualidade do ar fornecidas pela CETESB e os dados de saúde da Cidade de São Paulo, os resultados reforçam o conceito de que é preciso ir além das medidas dos níveis da poluição do ar. É necessário intervir no sentido de reduzir as emissões e preservar a saúde humana. Estudos realizados em São Paulo há aproximadamente 20 anos são coerentes em demonstrar que:

- a exposição prolongada aos níveis atuais de poluição promove alterações inflamatórias das vias aéreas em animais de experimentação e seres humanos, com prejuízo dos mecanismos de defesa dos pulmões contra microorganismos;
- a poluição do ar em São Paulo induz a danos do DNA (mutações) com favorecimento do surgimento de tumores pulmonares em humanos e animais;
- após um período desfavorável de inversão térmica com acúmulo de poluentes é possível caracterizar de forma sistemática aumentos de morbidade (doenças) e mortalidade por eventos respiratórios e cardiovasculares. Os efeitos agudos das variações de poluição ocorrem após um período de tempo muito curto (no máximo 5 dias) e não exibe nível de segurança. Ou seja, mesmo quando os padrões da legislação ambiental não são ultrapassados, existem indivíduos nesta nossa comunidade de milhões de habitantes que irá experimentar efeitos adversos graves sobre a sua saúde.

A situação acima exposta não deixa muitas dúvidas sobre qual o rumo devemos tomar. É esperado pelos autores deste documento que o mesmo seja útil para reforçar a consciência ambiental de nossa sociedade, para que possamos orientar as nossas medidas de gerenciamento urbano no sentido de um ambiente mais saudável para nós e nossos descendentes.