

# Os riscos do ozônio ambiental

## *The environmental risks of ozone*

Luciana Bahia<sup>1</sup>

**Palavras-chave:**

poluição, ozônio,  
doenças, mortalidade

**Keywords:**

pollution, ozone,  
diseases, mortality

**RESUMO**

O crescente aumento dos poluentes do ar acarreta danos à saúde dos indivíduos, principalmente nos grandes centros urbanos e nas populações mais suscetíveis (idosos e crianças). Na atualidade os estudos científicos demonstram de forma mais acurada os riscos de determinados poluentes, entre eles o ozônio, um dos mais nocivos. Além da visão médica, gestores e formuladores de políticas de saúde devem ter conhecimento dos custos diretos e indiretos das doenças causadas ou agravadas pela poluição ambiental. O desenvolvimento tecnológico acompanhado do crescimento da população urbana e idosa tornará esse problema ainda maior no futuro, conseqüentemente, medidas de controle da poluição são mandatórias para todas as grandes cidades para que se evite um dano ainda maior para a sociedade e sistemas de saúde.

**ABSTRACT**

The growing number of air pollutants has been causing damage to health, especially in large urban centers and more susceptible populations (elderly and children). Scientific studies have shown with more accuracy the risks of certain pollutants, including ozone, one of the most harmful. Health managers and policy makers should be aware of the direct and indirect costs of diseases caused or exacerbated by environmental pollution. Technological development has accompanied the growth of urban and elderly people. These will become a bigger problem in the future, therefore, measures for pollution control are mandatory for all major cities to refrain from even greater harm to society and health systems.

## Introdução

Há mais de 50 anos os pesquisadores vêm demonstrando os riscos da poluição ambiental sobre a saúde humana. No início dos anos 80, cientistas do mundo inteiro começaram a alertar para os riscos ambientais do aumento da concentração de gases causadores do efeito estufa na atmosfera em decorrência da desastrosa interferência no equilíbrio natural do meio ambiente pela humanidade. O ozônio é apenas um entre as centenas de poluentes que infestam o ar das grandes cidades, porém é um dos mais nocivos. Embora existam dados de que os níveis ambientais de ozônio estejam aumentando em ambos os hemisférios (Holloway T et al., 2003), até agora, poucos estudos conseguiram demonstrar o real impacto desse poluente por dificuldades e imprecisões nos métodos científicos utilizados.

O ozônio é um gás de difícil mensuração e controle. Ele não é emitido diretamente, mas é um subproduto de várias e complexas reações químicas entre diversos poluentes (monóxido de carbono, dióxido de nitrogênio, hidrocarbonetos) e a luz solar. O calor funciona como um acelerador dessas reações, aumentando a geração de ozônio, que geralmente atinge seu pico entre as 12 e 15 horas do dia. Portanto, o aquecimento global figura entre um dos fatores possivelmente responsáveis pela maior geração de ozônio.

Vários países e cidades já estão controlando a emissão de gases poluentes, porém é muito difícil elaborar estratégias eficientes para a redução do ozônio. Um exemplo no nosso país foi a criação dos carros movidos a biocombustíveis. O paradoxo é que, embora esses veículos emitam menores quantidades de monóxido de carbono, passam a emitir no ar resíduos de álcool – os aldeídos, que são matéria-prima para o ozônio.

O ozônio presente na estratosfera (10 a 50 quilômetros de altitude) funciona como uma barreira contra a radiação solar, causadora de definidos riscos à saúde. Ou seja, longe da superfície, o ozônio é benéfico, próximo é danoso.

Uma comissão europeia foi constituída, em 1999, com o objetivo de criar medidas para o monitoramento e controle das concentrações de ozônio ambiental, segundo os objetivos prévios para a boa qualidade do ar sugeridos pela Organização Mundial da Saúde. Os limites de emissão de vários poluentes foram derivados de um modelo de custo-efetividade, denominado RAINS (*Regional Air Pollution Information and Simulation*) que integra informações de fontes de emissão (desenvolvimento econômico, possibilidades técnicas e custos para a redução da emissão) com informações científicas sobre a dispersão de poluentes, incluindo a formação do ozônio (Amann M. et al., 2000).

Recebido em 11/12/2009. Aprovado para publicação em 17/02/2010. Fontes de financiamento: Este estudo recebeu apoio financeiro do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Avaliação de Tecnologias em Saúde (IATS) – CNPq/Brasil. Conflito de interesse: não há.

1. Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia para Avaliação de Tecnologias em Saúde (IATS) – CNPq/Brasil.

Endereço para correspondência: Luciana Bahia. R. Visconde de Pirajá 547-501 Ipanema. Tel.: 21-2512-4350 – Fax: 21-3507-2097. Rio de Janeiro – RJ – CEP 22410-003. lucianabahia@uol.com.br

Na região metropolitana de São Paulo o ozônio representa o principal poluente, excedendo os padrões de qualidade do ar por vários dias ao ano. Pesquisadores do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares de São Paulo verificaram a variação da concentração máxima de ozônio em cinco bases de observação através de dados simulados pela diminuição do potencial de formação de ozônio. Os precursores de ozônio mais comuns na cidade de São Paulo foram: formaldeído (mais importante), acetaldeído, propeno, isopropeno, cis-2-buteno e trans-2-buteno. Os dados observados sugerem que a melhor estratégia de redução da concentração de ozônio seria a redução da emissão de VOC, a mesma ação não é possível com o  $\text{NO}_2$ , já que a sua diminuição acarreta aumento da concentração de ozônio (Orlando JP et al., 2009).

### Ozônio e doenças

O ozônio inalado, mesmo em pequenas quantidades, é capaz de causar um processo inflamatório pulmonar, exacerbando doenças como asma, rinite, enfisema e complicando quadros cardiopulmonares como insuficiência cardíaca e congestão pulmonar.

A relação entre o ozônio e as doenças respiratórias é bem estabelecida e documentada por meio do registro de mais admissões em serviços de emergência e de internações. Alguns estudos nacionais demonstraram aumento do número de internações por doenças respiratórias e cardiovasculares na cidade de São Paulo, principalmente entre crianças e idosos.

Um aumento de 10 microgramas/ $\text{m}^3$  de material particulado (PM) esteve associado com aumento de 4,6% nas internações por asma em crianças e 4,3% das internações por doença pulmonar obstrutiva crônica e doenças cardíacas em idosos. No Rio de Janeiro o aumento na quantidade de poluentes (1 milésimo de grama) resultou em acréscimo de 4% no número de crianças hospitalizadas (Freitas C et al., 2004; Gouveia N et al., 2006).

A relação entre os poluentes do ar (ozônio, monóxido de carbono e dióxido de nitrogênio), nível socioeconômico e sintomas alérgicos (rinite, asma e eczema atópico) foi estudada em 16.209 adolescentes nas cidades de São Paulo, Santo André, Curitiba e Porto Alegre. Embora os autores não tenham detectado um padrão na relação entre determinados poluentes e sintomas específicos, os dados sugerem que a exposição a esses poluentes determina aumento significativo nos sintomas alérgicos (Solé D et al., 2007).

No período de 1996 a 1997 foi demonstrada a relação entre o aumento da concentração de dióxido de nitrogênio, ozônio e monóxido de oxigênio e o maior número de atendimentos e internações por afecções respiratórias em crianças atendidas no setor de emergência do Instituto da Criança da Universidade São Paulo (Farhat SC et al., 2005).

Em sete cidades do Chile foi demonstrado um aumento de 10% a 17% nos atendimentos por cefaléia relacionados a

vários poluentes (PM = material particulado;  $\text{NO}_2$  = dióxido de nitrogênio, CO = monóxido de carbono e  $\text{O}_3$  = ozônio) (Dales RE et al., 2009).

### Ozônio e mortalidade

O impacto da poluição atmosférica sobre a morbimortalidade brasileira foi estudado em populações de maior risco (idosos > 65 anos e crianças < 5 anos) de sete cidades brasileiras (Belo Horizonte, Curitiba, Fortaleza, Porto Alegre, Rio de Janeiro, São Paulo e Vitória). Embora os autores descrevam que os métodos de aferição da poluição tenham sido diferentes, os fatores de impacto foram gerados localmente. Os pesquisadores estimaram que 600 mortes/ano seriam atribuídas a doenças respiratórias no grupo de idosos e 47 mortes/ano no grupo de crianças, correspondendo a 4,9% e 5,5% da mortalidade respiratória total observada nesses grupos, respectivamente (Marcilio I & Gouveia N, 2007). Outra análise realizada apenas na cidade de São Paulo demonstrou claramente que a população de idosos é a de maior risco de mortalidade relacionada com a poluição ambiental (Tabela 1) (Gouveia N & Fletcher T, 2000).

A relação entre o aquecimento das cidades e a mortalidade geral foi demonstrada em outra série em três grandes cidades latinas (São Paulo, Chile e cidade do México). Com o aumento da temperatura se observou um aumento no risco de morte, mesmo após o ajuste pela concentração de ozônio. A cidade São Paulo foi a cidade mais quente e com a mais forte relação entre a temperatura e a mortalidade, sendo os idosos > 65 anos e os de menor nível educacional os grupos mais suscetíveis (Bell ML et al., 2008).

Recentemente foram publicadas três meta-análises especificamente sobre o impacto da concentração ambiental de ozônio e a mortalidade em diferentes populações (Bell M et al., 2005; Ito K. et al., 2005; Levy JI et al., 2005). Embora os autores tenham utilizado diferentes fontes de dados e métodos de avaliação, os resultados finais foram bastante semelhantes. Demonstrou-se que para cada aumento na concentração média anual de ozônio em 10 ppm (partícula por milhão) no ar ambiente ocorre um aumento paralelo na mortalidade de 0,83% a 0,87%. Todos os estudos mostraram que o risco é maior nos meses do verão (níveis mais altos de ozônio) do que no inverno, porém inúmeros fatores de confundimento devem ser considerados na análise desses resultados (prevalência de aparelhos de ar-condicionado, estação do ano, tempo de exposição, faixa etária, concentração métrica dos poluentes, etc.).

Os dados do estudo NMMAPS (*National Morbidity and Mortality Air Pollution Study*), que monitora longitudinalmente a qualidade do ar em 95 cidades americanas nos últimos 14 anos, foram analisados no período de 1987 a 2000 e comparados com os resultados da meta-análise de 39 estudos de séries (Bell et al., 2005).

**Tabela 1.** Riscos relativos ajustados para mortalidade em todas as idades em relação ao aumento no nível de poluentes (aumento nos níveis de PM<sub>10</sub> do percentil 10 ao 90)

	PM <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	CO	O <sub>3</sub>
Todas as idades	1.007 (0.986, 1.026)	1.010 (0.992, 1.029)	0.996 (0.979, 1.012)	1.012 (0.994, 1.031)	1.008 (0.989, 1.027)
<b>Acima de 65 anos</b>					
Todas as causas	1.033* (1.006, 1.060)	1.033* (1.008, 1.058)	1.013 (0.992, 1.033)	1.020 (0.996, 1.046)	1.023* (1.000, 1.046)
Respiratórios	1.060* (1.005, 1.118)	1.040* (0.981, 1.101)	1.031 (0.982, 1.082)	0.981 (0.927, 1.037)	1.051* (0.994, 1.111)
Cardiovasculares	1.038* (1.001, 1.076)	1.044* (1.010, 1.080)	1.014 (0.986, 1.043)	1.041* (1.007, 1.076)	1.031 (0.996, 1.067)

\*p < 0.05

PM<sub>10</sub>, Material particulado; SO<sub>2</sub> dióxido enxofre; NO<sub>2</sub> dióxido nitrogênio, CO monóxido carbono e O<sub>3</sub> ozônio;

A Tabela 2 evidencia a diferença entre os resultados de algumas meta-análises existentes sobre a relação entre ozônio e mortalidade.

Um estudo em 23 cidades européias, com três anos de duração, demonstrou que nos meses do verão o aumento da concentração de ozônio (5 ppm) se acompanha de um aumento de 0,33% na mortalidade geral, 0,45% nas mortes cardiovasculares e 1,13% nas doenças respiratórias. Comparando com os métodos utilizados nas metanálises citadas (aumento de 10 ppm), poderíamos inferir, então, o dobro desses riscos (Gryparis A et al., 2004).

**Tabela 2.** Estimativas de aumento da mortalidade decorrente da exposição ao ozônios

Estudo	Aumento percentual na mortalidade (intervalo 95%)
Thurston e Ito 2001	1,37% ( 0,78 a 1,96)
Stieb et al., 2003	1,12% (0,32 a 1,92)
Levy et al., 2001	0,98% (0,59 a 1,38)
Anderson et al., 2004	1,11% (0,55 a 1,67)
Bell et al., 2005	0,87% (0,55 a 1,18)

## Risco e economia

Economistas vêm tentando mensurar o impacto econômico das doenças causadas pela poluição. Os custos diretos podem ser estimados através do aumento das internações hospitalares e visitas aos serviços de saúde (ambulatórios e setores de emergência), mas além desses, existem ainda os custos indiretos decorrentes do presenteísmo, absenteísmo, aposentadorias e mortes prematuras.

É importante estimar os prejuízos econômicos decorrentes dos males causados pela poluição ambiental para estabelecer investimentos prioritários em ações preventivas focadas. Não existem dados que possam ser comparados entre

países, já que o investimento em saúde tem uma variação per capita enorme. Na tentativa de utilizar um indicador padrão, a medida de DALY (Disability-Adjusted Life Years) tem sido aplicada para estimar o impacto econômico.

Um trabalho realizado na cidade de São Paulo atribuiu valores de DALY em relação à poluição ambiental baseado em estudos epidemiológicos prévios. Os custos indiretos da saúde atribuíveis à poluição do ar somaram US\$ 3.222.676 (em crianças e idosos) e os valores de DALY atribuídos foram de US\$ 28.212 por ano (Miraglia SG et al., 2005).

Pesquisadores da Escola de Saúde Pública de Harvard publicaram um estudo de custo-benefício (valores monetários) da redução de ozônio em relação a alguns desfechos de saúde: mortalidade prematura, asma crônica, internações hospitalares por afecções respiratórias e restrição nos dias de trabalho. Foi estimado um valor anual para os benefícios de saúde pela redução na concentração de ozônio de aproximadamente US\$ 10 por pessoa pela redução de 1 micrograma/m<sup>3</sup> (média de 24h) (Levy JI et al., 2001).

Na área de Hong Kong, onde a poluição vem crescendo significativamente nas últimas décadas, foi realizada uma estimativa do impacto econômico e na saúde de dias com poluição ambiental habitual comparados com dias de qualidade de ar sugerida pela Organização Mundial da Saúde para a população de 6,9 milhões de indivíduos. Foi demonstrado que, se medidas efetivas de diminuição da poluição conseguissem manter a qualidade do ar dentro dos níveis sugeridos mundialmente, haveria uma diminuição de 1.335 mortes, 60.587 dias de internações e 6,7 milhões de visitas médicas por afecções respiratórias. A perda de produtividade evitada seria de US\$ 240 milhões/ano (Hedley AJ et al., 2008).

## Conclusão

Embora o mundo já tenha consciência dos riscos da poluição ambiental para a saúde, as ações efetivas para controle da emissão de poluentes está longe de ser realidade, prin-

principalmente nos grandes centros urbanos. Os efeitos deletérios do ozônio para a saúde são observados em grupos mais suscetíveis, como idosos e crianças, aumentando o número de hospitalizações e morte. Em adição, o aumento da poluição ambiental ocorre em paralelo ao aumento da expectativa de vida e da população acima de 60 anos no mundo. Os dados científicos existentes são insuficientes para indicar uma estimativa precisa dos custos diretos e indiretos decorrentes da poluição. Até então, as evidências apontam para um aumento na mortalidade e dos gastos na saúde e isso certamente tem um grande impacto para a saúde pública e para a sociedade em diversos países, inclusive no Brasil.

### Referências bibliográficas

- Amann M et al. The revision of the air quality legislation in the European Union related to ground-level ozone. *J Hazard Mater*. 2000 Nov 3;78(1-3):41-62.
- Anderson HR et al. Meta-Analysis of Time-Series Studies and Panel Studies of Particulate Matter (PM) and Ozone (O<sub>3</sub>). Report of a WHO Task Group. Copenhagen: World Health Organization; 2004.
- Bell ML et al. Vulnerability to heat-related mortality in Latin America: a case-crossover study in Sao Paulo, Brazil, Santiago, Chile and Mexico City, Mexico. *Int J Epidemiol*. 2008 Aug;37(4):796-804.
- Bell M et al. A Meta-Analysis of Time-Series Studies of Ozone and Mortality With Comparison to the National Morbidity, Mortality, and Air Pollution Study. *Epidemiology* 2005;16: 436-45.
- Dales RE et al. Air pollution and hospitalization for headache in Chile. *Am J Epidemiol*. 2009 Oct 15;170(8):1057-66.
- Gryparis A, Forsberg B, Katsouyanni K, et al. Acute effects of ozone on mortality from the 'Air Pollution and Health: A European Approach' Project. *Am J Respir Crit Care Med*. 2004;170:1080-7.
- Hedley AJ et al. Air pollution: costs and paths to a solution in Hong Kong--understanding the connections among visibility, air pollution, and health costs in pursuit of accountability, environmental justice, and health protection. *J Toxicol Environ Health A*. 2008; 71(9-10):544-54.
- Holloway T, Fiore A, Hastings MG. Intercontinental transport of air pollution: will emerging science lead to a new hemispheric treaty? *Environ Sci Technol*. 2003;37:4535-42.
- Ito K et al. Associations between ozone and daily mortality – Analysis and Meta-analysis. *Epidemiology*. 16(4):446-57.
- Levy JI et al. Assessing the public health benefits of reduced ozone concentrations. *Environ Health Perspect*. 2001;109:1215-26.
- Levy JI et al. Ozone exposure and mortality. An empirical Bayes Metaregression Analysis. *Epidemiology* 2005; 16(4): 458-67.
- Marcilio I, Gouveia N. Quantificação do impacto da poluição atmosférica sobre a população urbana brasileira. *Cad. Saúde Pública* [online]. 2007, vol.23, suppl.4, pp. S529-S536.
- Miraglia SG et al. An evaluation of air pollution health impacts and costs in São Paulo, Brazil. *Environ Manage*. 2005 May;35(5):667-76.
- Orlando JP et al. Ozone precursors for the São Paulo Metropolitan Area. *Sci Total Environ*. 2009 Dec 22. [Epub ahead of print].
- Solé D et al. Prevalence of symptoms of asthma, rhinitis, and atopic eczema in Brazilian adolescents related to exposure to gaseous air pollutants and socioeconomic status. *J Investig Allergol Clin Immunol*. 2007;17(1):6-13.
- Stieb DM et al. Meta-analysis of time-series studies of air pollution and mortality: update in relation to the use of generalized additive models. *J Air Waste Manage Assoc*. 2003;53:258-61.
- Thurston GD, Ito K. Epidemiological studies of acute ozone exposures and mortality. *J Expo Anal Environ Epidemiol*. 2001;11:286-94.