



Universidade de São Paulo
Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas
Departamento de Ciências Atmosféricas
DCA/IAG/USP

AGM5823 – Tópicos em química atmosférica

Poluição do ar

Adalgiza Fornaro, IAG-USP

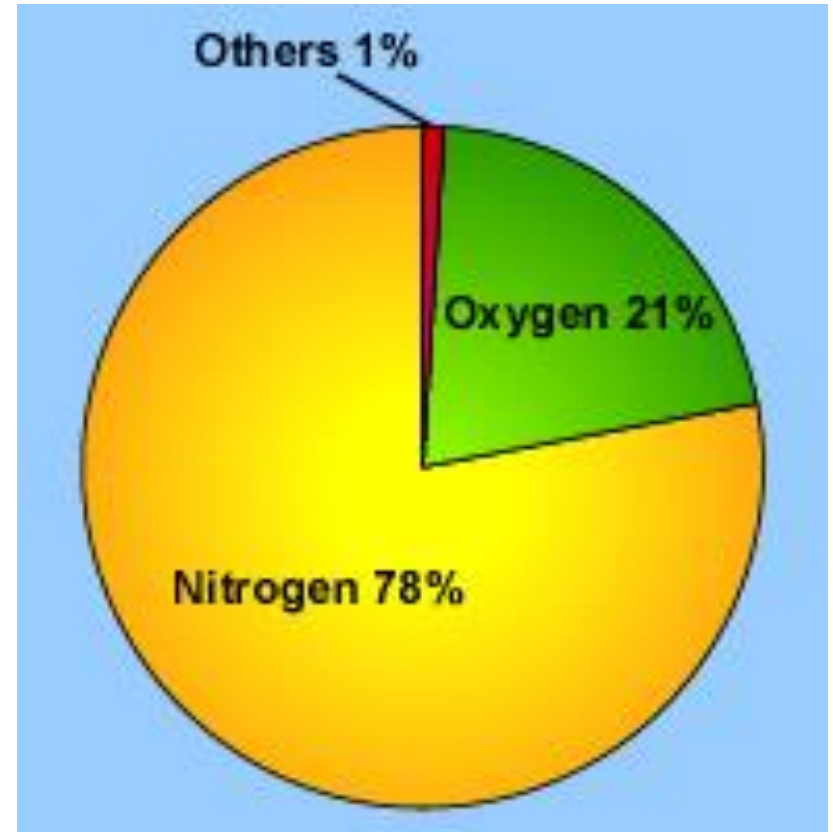
São Paulo, dezembro 2023

Poluição do ar

- Conceitos e definições
- Principais poluentes
- Efeitos da poluição do ar
- Aspectos históricos
- Legislação
- Controle da poluição do ar

Composição Atmosférica

Os principais componentes do ar são nitrogênio (N_2), oxigênio (O_2) e vapor d'água (H_2O). Cerca de 99% do ar seco é nitrogênio (78%) e oxigênio (21%). O percentual restante inclui traços de substâncias como dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), hidrogênio (H_2), argônio (Ar) e hélio (He).



O que é um poluente do ar?

Uma substância que:

- não é encontrada naturalmente no ar ou
- mal localizada ou
- em concentrações altas o suficiente de modo que produza um efeito ambiental prejudicial.

As duas formas físicas básicas de poluição do ar :

- ❖ Gases
- ❖ Material particulado, MP (aerossol atmosférico, poeira)

Isso pode afetar:

- a saúde humana (principalmente via sistema respiratório)
- a saúde das plantas e animais
- materiais em geral

Omowumi Alabi, Department of Geosciences
University of Missouri-Kansas City, Kansas City, MO

Definição (CONAMA, RESOLUÇÃO N. 491, DE 19 DE NOVEMBRO DE 2018)

poluente atmosférico: qualquer forma de matéria em quantidade, concentração, tempo ou outras características, que tornem ou possam tornar o ar impróprio ou nocivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade ou às atividades normais da comunidade.

Tipos de Poluentes

Os poluentes também podem ser classificados como poluentes primários ou poluentes secundários.

Poluente primário é aquele que é emitido para a atmosfera diretamente da fonte do poluente e retém a mesma forma química.

O efeito dos poluentes primários é mais pronunciado nas imediações da fonte.

Poluente secundário é aquele que é formado por reações atmosféricas de precursores ou emissões primárias. Poluentes secundários não são emitidos. Em vez disso, eles se formam no ar quando os poluentes primários reagem ou interagem. Um exemplo importante de poluente secundário é o ozônio.

Os poluentes secundários “demoram” a se formar e podem não afetar a vizinhança imediata da fonte poluente.

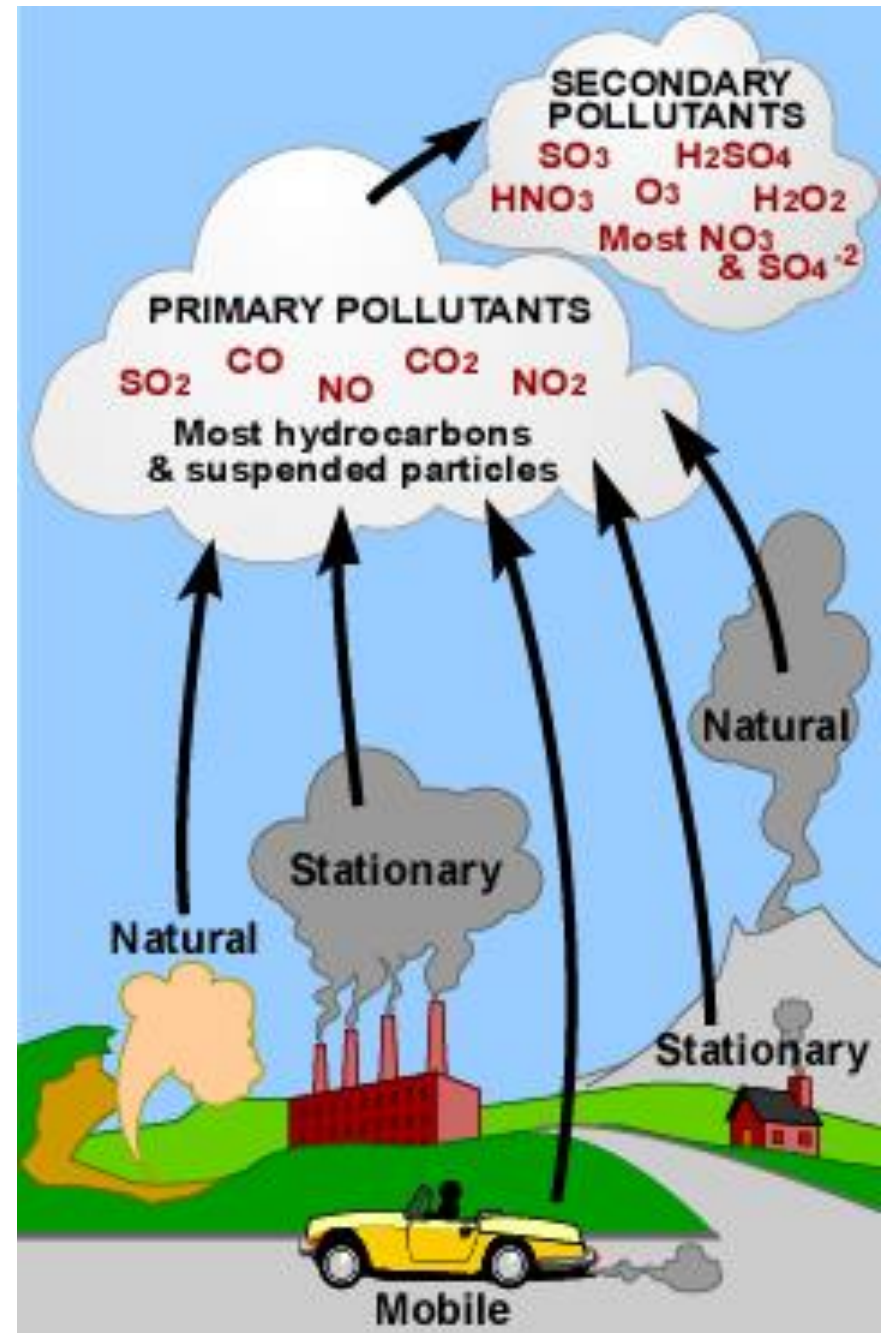
Fontes de poluentes do ar

Uma fonte de poluição do ar é qualquer atividade que causa a emissão de poluentes para o ar.

As fontes de poluição do ar geradas pelo homem são categorizadas de duas maneiras: fontes móveis e estacionárias.

As **fontes móveis** de poluição do ar incluem a maioria dos meios de transporte, como automóveis, caminhões e aviões.

Fontes estacionárias de poluição do ar consistem em fontes imóveis, como usinas de energia e instalações industriais.



Transporte e dispersão de poluentes do ar

Em nível local, os principais fatores que afetam o **transporte e a dispersão** de poluentes são a **estabilidade atmosférica e vento**.

Vento

o movimento horizontal natural da atmosfera causado por

- diferenças de pressão na atmosfera.
- o ar se move de áreas de alta pressão para áreas de baixa pressão

Efeito do vento na dispersão de poluentes

- ✓ A velocidade do vento pode afetar significativamente a concentração de poluentes em uma área local.
- ✓ Quanto maior a velocidade do vento, menor a concentração de poluentes.
- ✓ O vento dilui os poluentes e os dispersa rapidamente por toda a área imediata.

Estabilidade atmosférica

Refere-se ao movimento vertical da atmosfera.

Condições atmosféricas instáveis resultam em uma mistura vertical, promovendo assim a dispersão do ar poluído

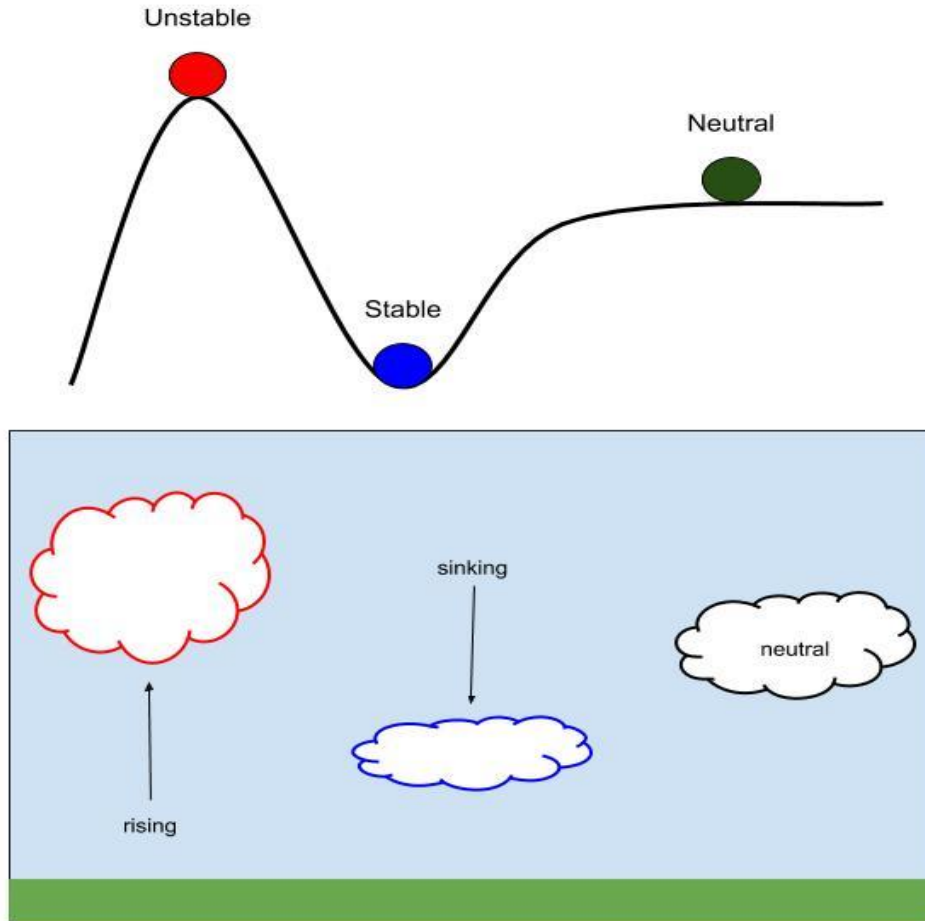
Atmosfera instável

- A temperatura diminui com a altura
- O movimento vertical do ar ocorre
- O movimento horizontal do ar é promovido
- Promove a dispersão

Atmosfera estável

- A temperatura aumenta com a altura
- O movimento vertical do ar é restrito
- O movimento horizontal do ar é restrito
- Impede a dispersão

Estabilidade atmosférica



Instável

$$T_{\text{parcela}} > T_{\text{ar}}$$

A parcela é mais quente do que seus arredores, então ela sobe e se expande

Estável

$$T_{\text{ar}} < T_{\text{parcela}}$$

A parcela é mais fria do que seus arredores, então ela desce e se comprime

Neutra

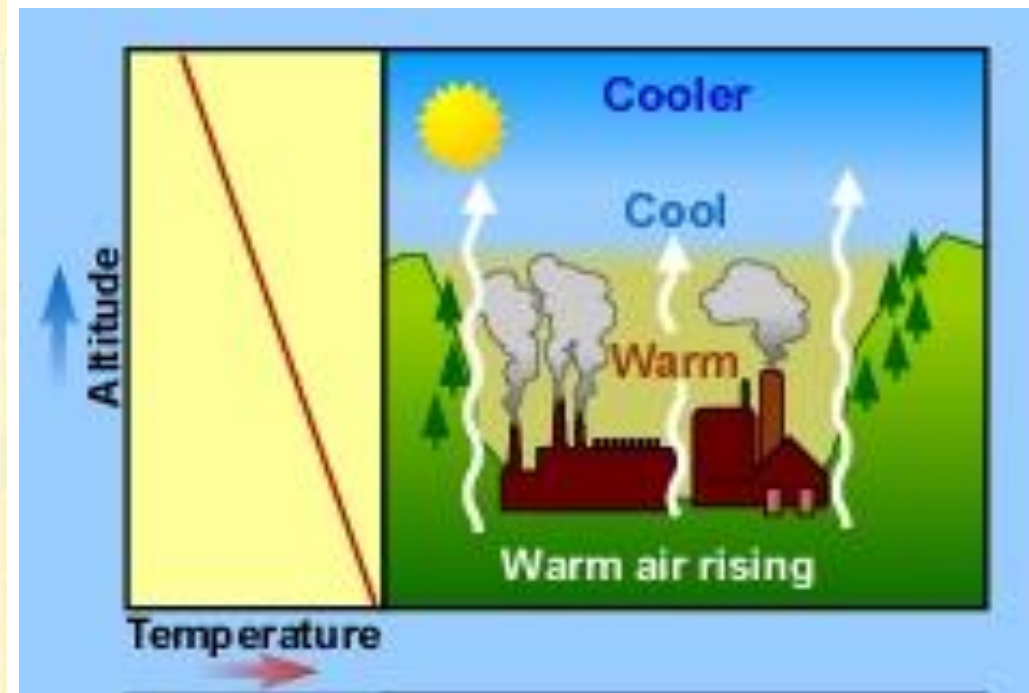
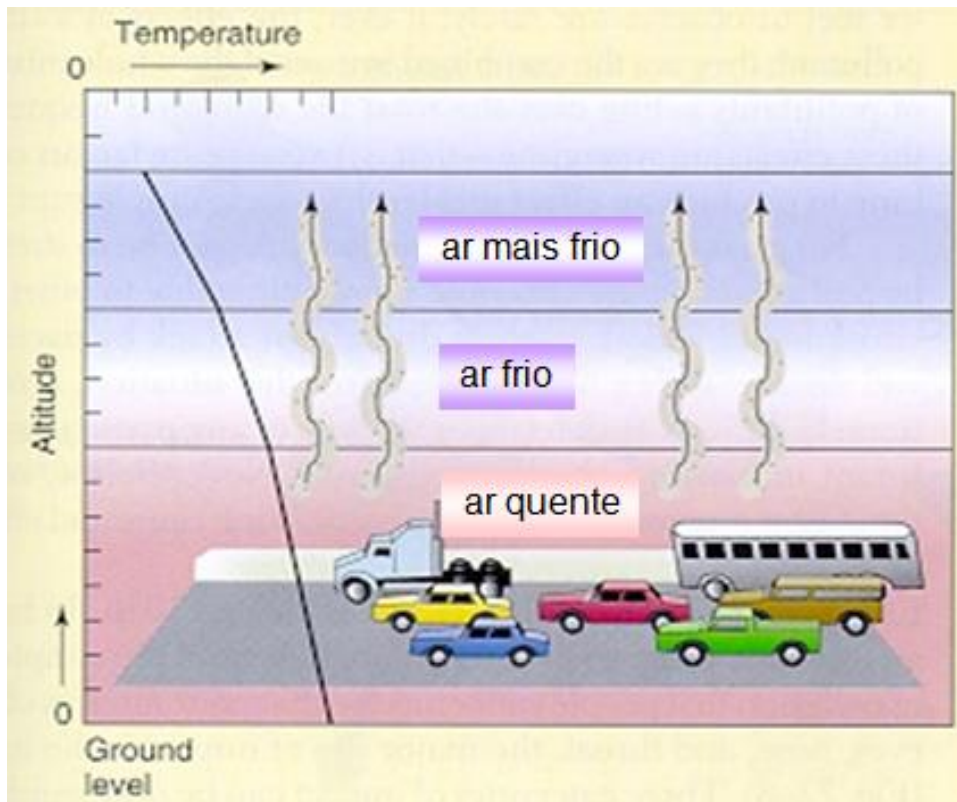
$$T_{\text{parcela}} = T_{\text{ar}}$$

A parcela tem a mesma temperatura de seus arredores, sem alteração

Exemplos de estabilidade e instabilidade em relação às temperaturas do ar e das parcelas (criado por Britt Seifert).

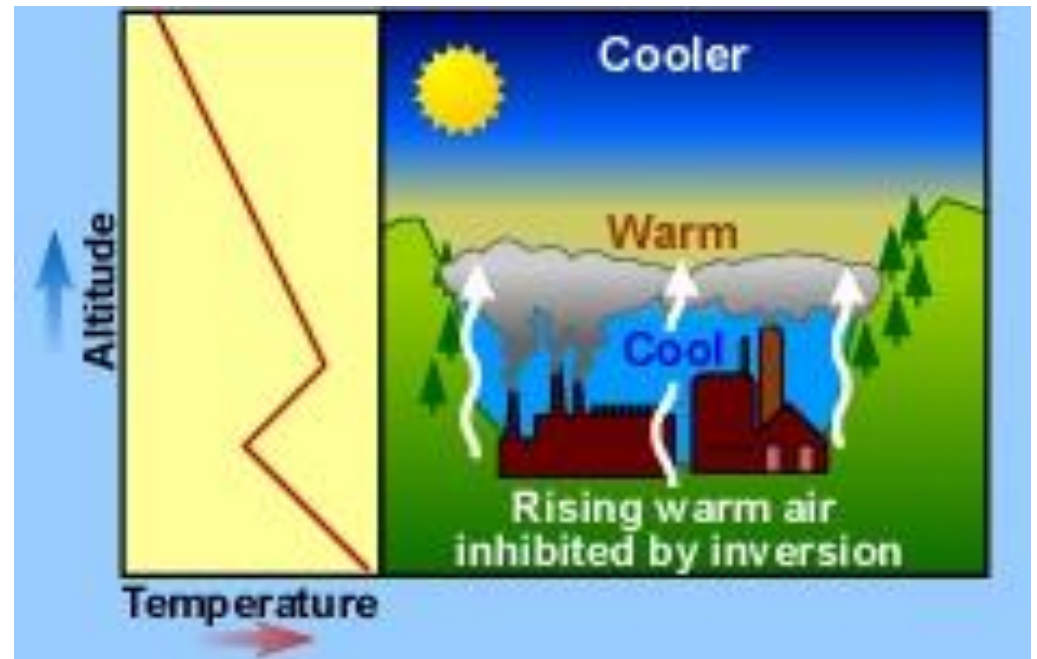
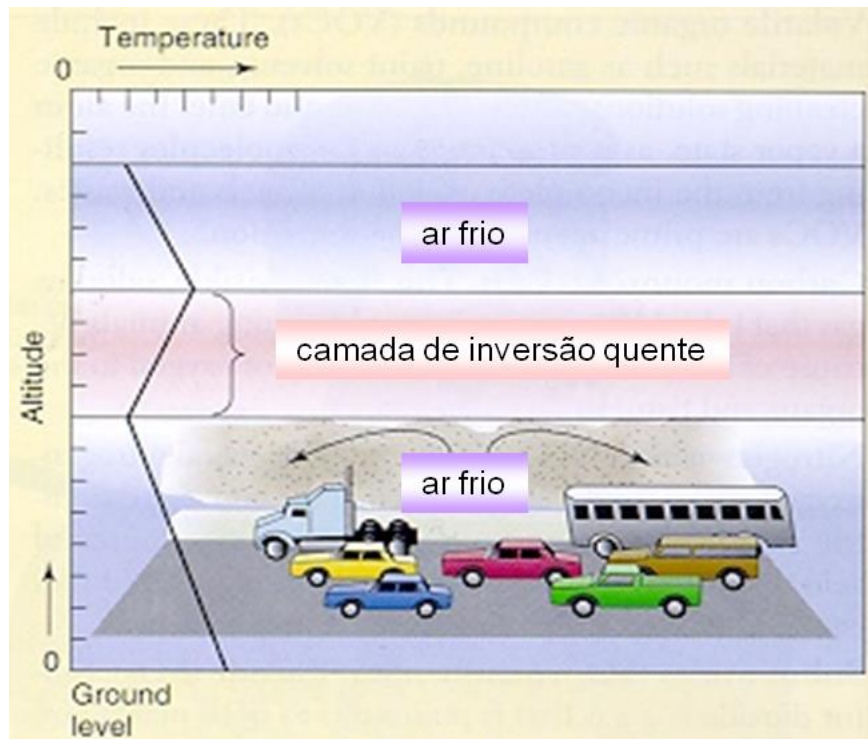
A atmosfera instável promove a dispersão do ar poluído

Normalmente, o ar próximo à superfície da Terra é mais quente durante o dia devido à absorção da energia do sol. O ar mais quente e mais leve da superfície sobe e se mistura com o ar mais frio e mais pesado da atmosfera superior, causando condições instáveis na atmosfera. Esta turbulência constante também resulta na dispersão do ar poluído.



Condição atmosférica estável evita a dispersão do ar poluído

Condições atmosféricas estáveis geralmente ocorrem quando o ar quente está acima do ar frio e a profundidade da **camada de mistura** é significativamente restrita. Essa condição é chamada **de inversão de temperatura (ou térmica)**. Uma inversão pode impedir a ascensão e dispersão de poluentes das camadas inferiores da atmosfera e causar problemas de poluição do ar.



Fatores que determinam o nível da poluição do ar:

1. quantidade de poluentes entrando na atmosfera
(indústrias, tráfego, erupções vulcânicas, grandes queimadas)

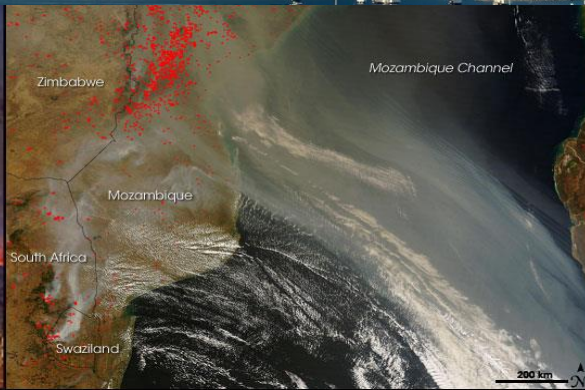


Tabela I - Estimativas de emissão para fontes de poluição do ar na RMSP - 1985 (t/dia)

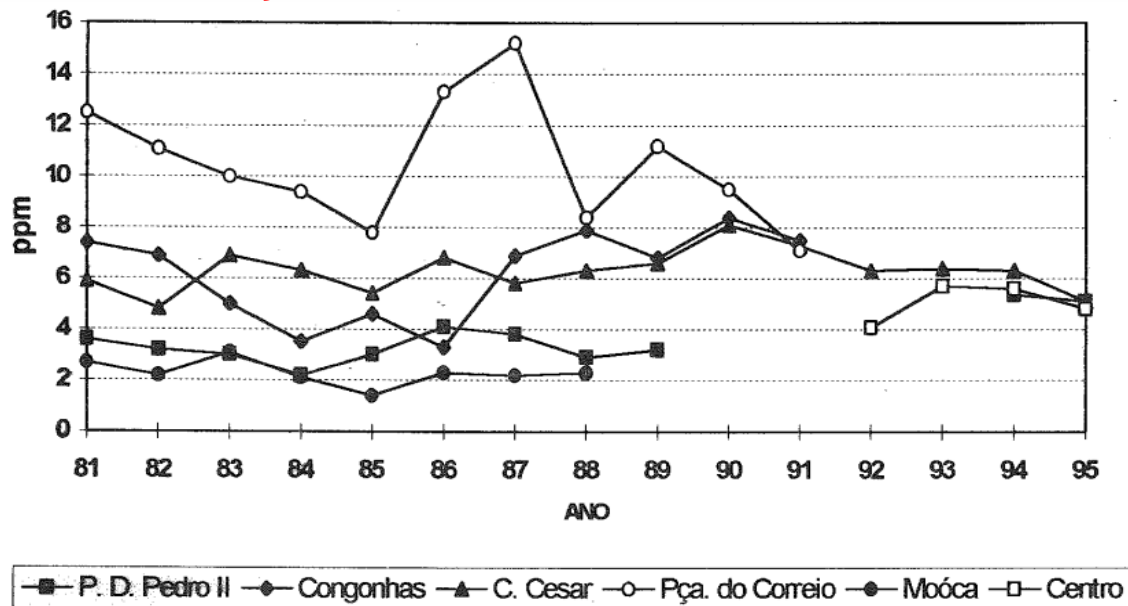
toneladas/dia!!!!

FONTES	POLUENTES				
	CO	HC	NOx	SO2	PARTICULAS
CLASSE DE VEÍCULO					
a gasolina (escapamento)	2288	213	79	12	12
a álcool (escapamento)	471	39	27	-	-
a Diesel (escapamento)*	598	97	436	200	27
motocicletas (escapamento)	86	17	0,5	0,3	0,3
táxi	141	13	6	0,3	0,3
emissão evaporativa	-	129	-	-	-
emissão do cárter	-	1	-	-	-
pneus	-	-	-	-	17
operação de proc. indust.	105	136	62	561	163
queima ao ar livre (1978)	120	39	7	1	32
TOTAL	3809	684	617,5	774,6	251,6

* veículos pesados

Observem a variação do CO ao longo dos anos desde 1981 até 2022 neste e nos dois próximos slides (atenção para as escalas do eixo Y).

Variação de CO (ppm), 1981-1995



g. 21- Evolução das concentrações médias das máximas de monóxido de carbono - média de 8 horas.

Tabela 4.4 - Estimativa de emissão das fontes de poluição do ar na RMSP em 2021

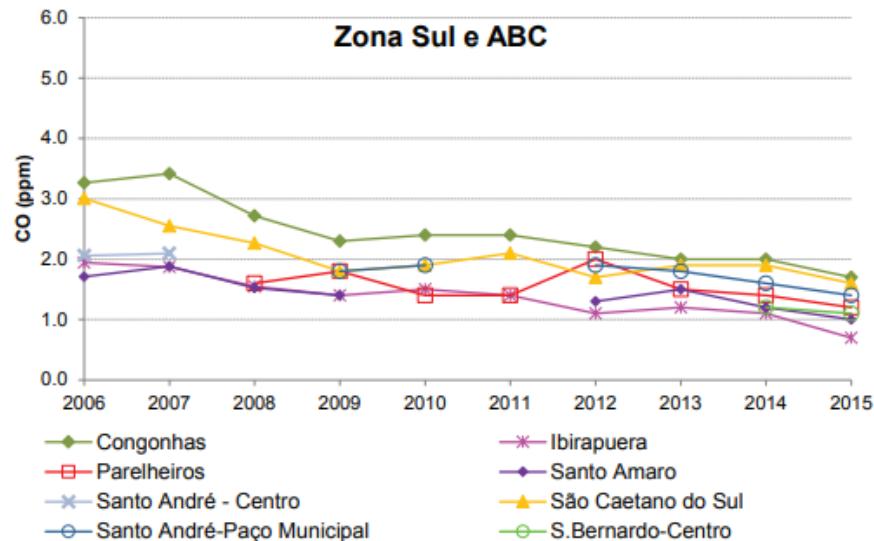
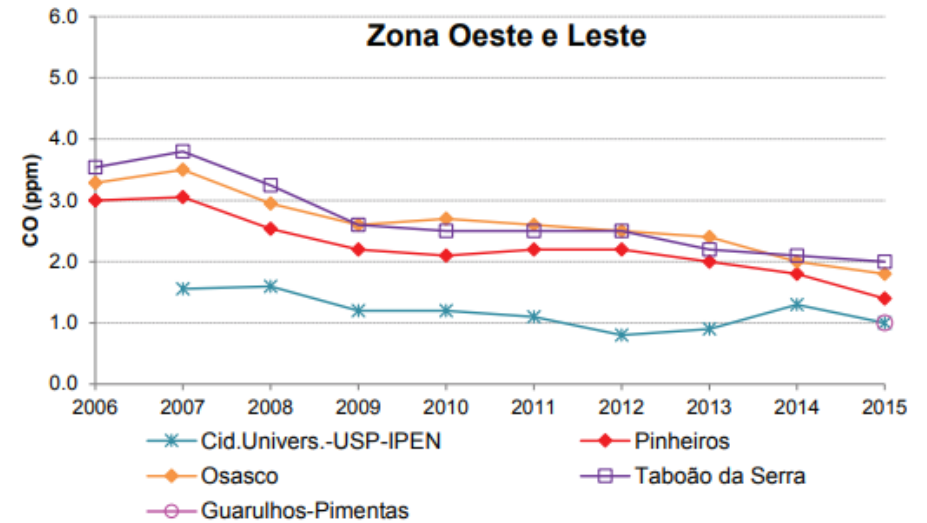
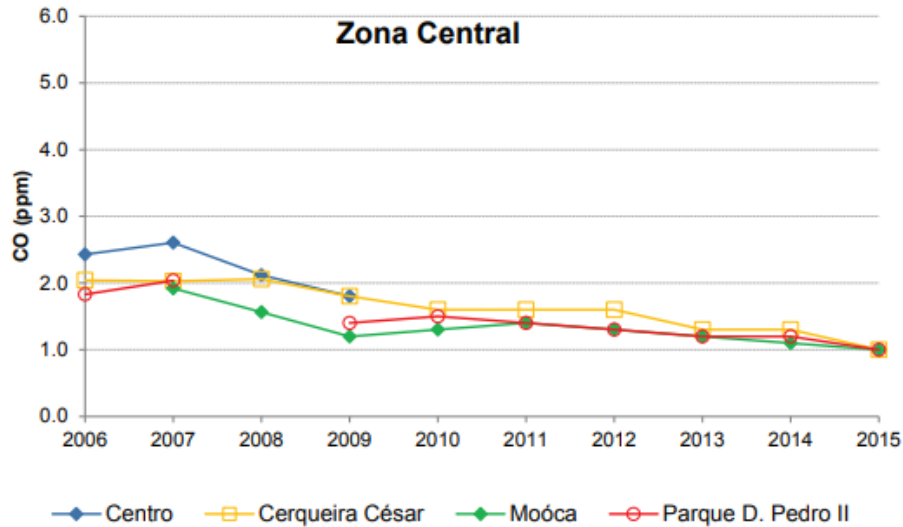
1000 toneladas/ano!!!!

Categoria	Combustível	Emissão (1000 t/ano)				
		CO	HC	NO _x	MP	SO _x
Total Emissão Veicular (2021)		91,43	21,65	38,52	0,94	0,50
FIXA	Operação de Processo Industrial (2008) (Número de indústrias inventariadas)	4,18 ¹ (62)	5,6 ² (124)	26,1 ² (162)	3,57 ² (193)	5,59 ¹ (146)
	Base de Combustível Líquido (2008) (9 empreendimentos)	-	3,68 ²	-	-	-
TOTAL GERAL		95,61	30,93	64,62	4,51	6,09

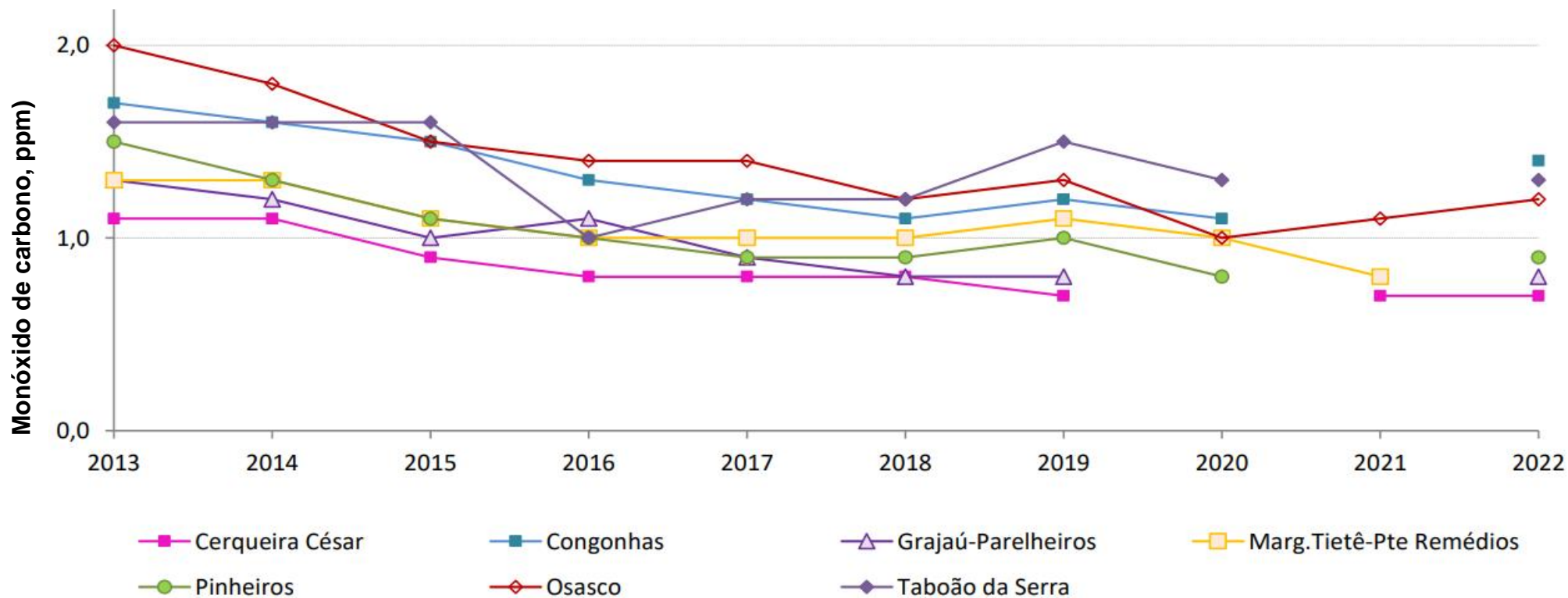
(CETESB, 2023)

Variação de CO (ppm), 2000-2015

Gráfico 23 – CO – Evolução das concentrações médias – máximas de 8h – RMSP (Rede automática - maio a setembro)



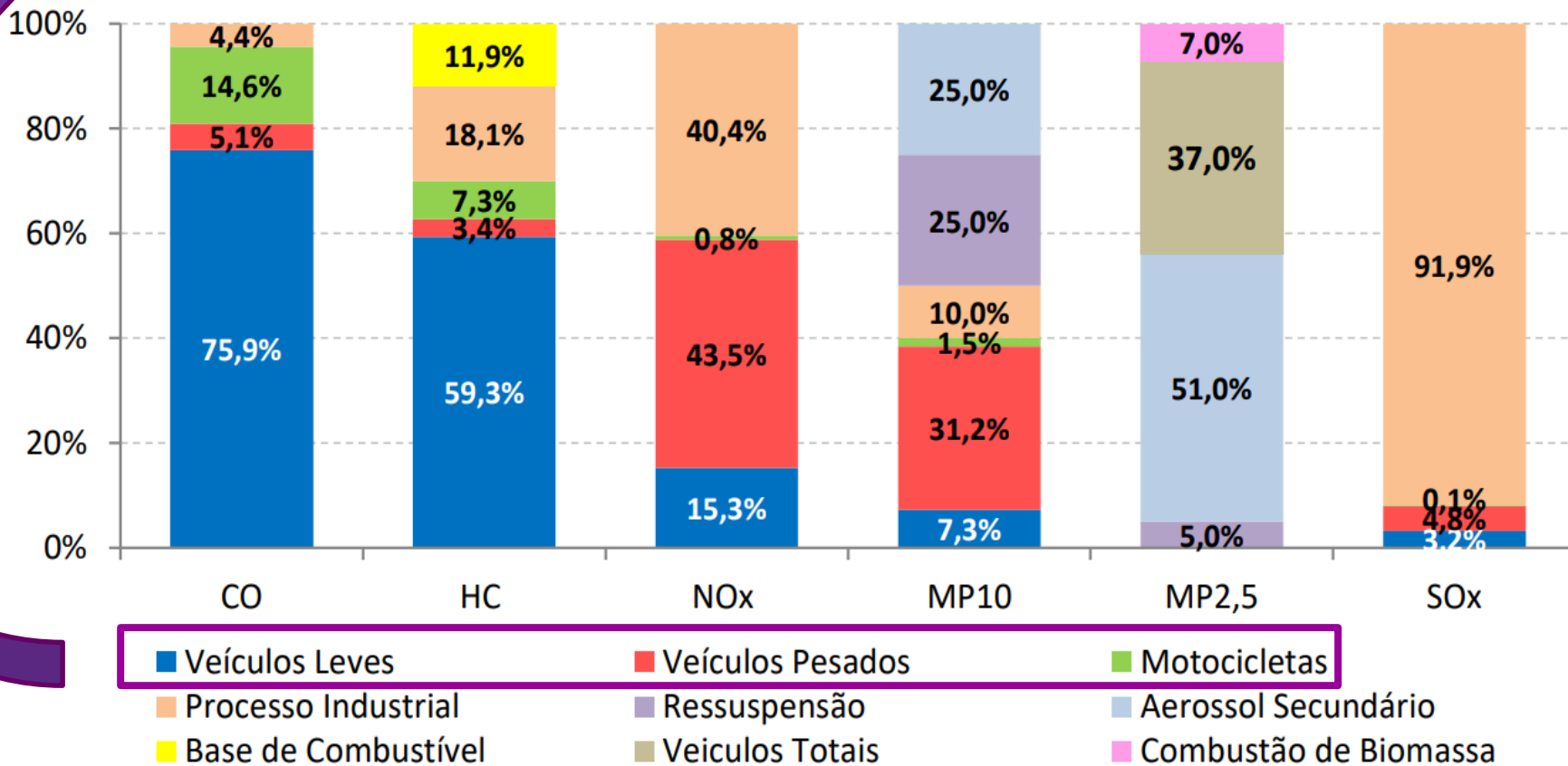
Monóxido de carbono, ppm (2013-2022)



CO – Evolução das médias anuais das concentrações máximas diárias (médias de 8 horas)

Estimativas de contribuições relativas das emissões por tipo de fonte para poluentes atmosféricos na região metropolitana de São Paulo em 2022.

Principais fontes de emissão de poluentes é a queima de combustíveis por veículos



Nota 1: MP_{10} - Contribuição conforme estudo de modelo receptor para partículas inaláveis (CETESB, 2002). A contribuição dos veículos (40%) foi rateada entre todos os veículos de acordo com os dados de emissão disponíveis (Tabela 4.5).

Nota 2: $MP_{2,5}$ - Contribuição conforme estudo de modelo receptor para partículas inaláveis finas realizado em Cerqueira César em 1996/1997, sendo a contribuição dos veículos apresentada de forma global (CETESB, 2002).

Nota 3: As emissões de HC provenientes do abastecimento dos veículos nos postos de combustível foram incorporadas nos veículos leves.

(CETESB, 2023)

Fatores que determinam o nível da poluição do ar:

2. tamanho do espaço (posição geográfica) em que os poluentes são dispersos (vale entre montanhas, planícies, etc)



Fatores que determinam o nível da poluição do ar:

3. mecanismos que removem os poluentes da atmosfera

❖ transporte horizontal por campos de vento, que explicam transporte de longa distância para poluentes de vida longa, chuvas).

❖ Transporte vertical devido turbulência atmosférica, que é diretamente induzida por efeitos da camada limite.

❖ chuvas



Quais compostos são poluentes do ar?

Monóxido de carbono – CO

Dióxido de enxofre - SO₂

Dióxido de nitrogênio – NO₂

Ozônio – O₃

Material particulado (PTS, MP₁₀ e MP_{2,5})

Chumbo

As **Partículas Totais em Suspensão - PTS** e o material particulado em suspensão na forma de fumaça - FMC são parâmetros auxiliares, a serem utilizados em situações específicas, a critério do órgão ambiental competente.

Material Particulado MP₁₀: partículas de material sólido ou líquido suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fuligem, entre outros, com diâmetro aerodinâmico equivalente de corte de 10 micrômetros;

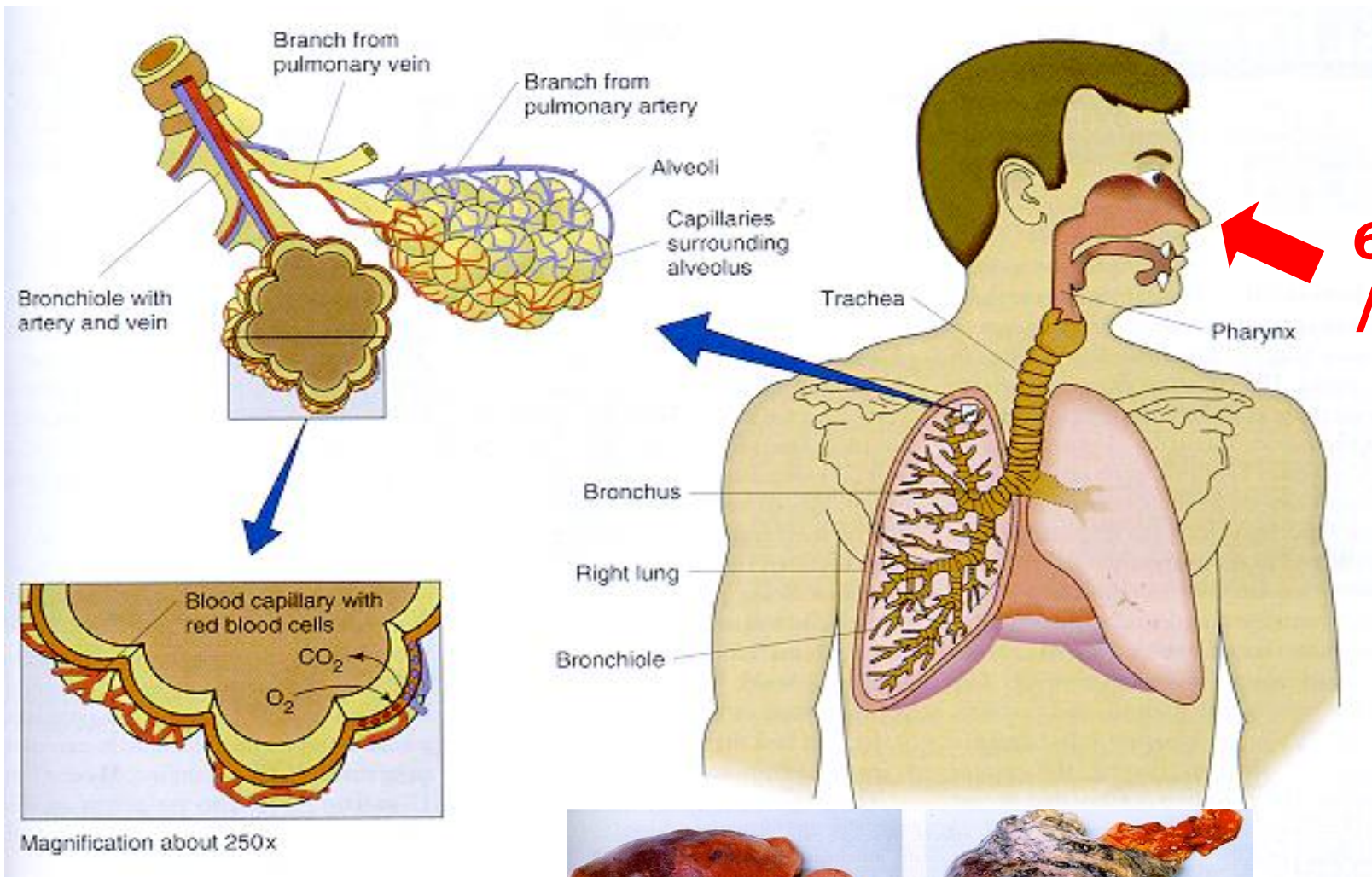
Material Particulado MP_{2,5}: partículas de material sólido ou líquido suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fuligem, entre outros, com diâmetro aerodinâmico equivalente de corte de 2,5 micrômetros



Comparação do tamanho do material particulado atmosférico com grão de areia e fio de cabelo.

Poluentes atmosféricos e saúde?

Efeitos da poluição do ar: saúde (sistema respiratório)



Health effects of air pollution

short-term effects

Efeitos agudos

Efeitos crônicos

long-term effects

exacerbation of asthma

cough, wheezing and shortness of breath

stroke

lung cancer

respiratory conditions

cardiovascular disease

episodes of high air pollution increase respiratory and cardiovascular hospital admissions and mortality

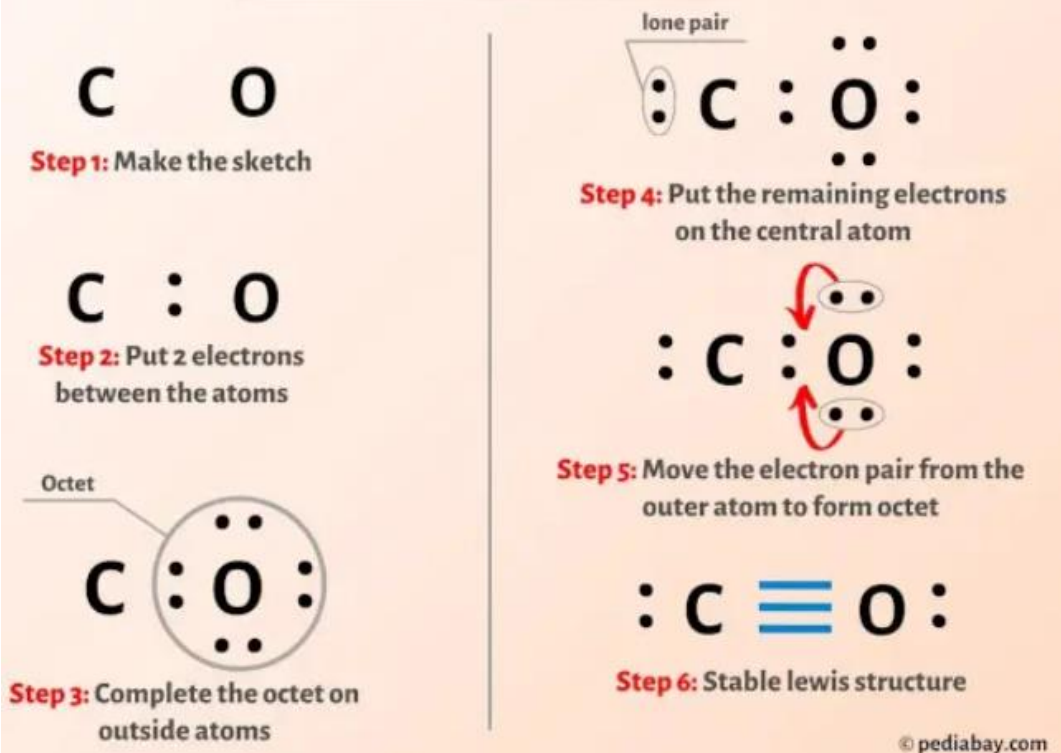
reduced life expectancy

O **monóxido de carbono (CO)** é um gás venenoso que pode deixá-lo gravemente doente se inalado. O monóxido de carbono pode ser produzido por incêndios e aparelhos que queimam gás, madeira, óleo ou carvão.

CO Lewis Structure in 5 Steps (With Images)

By Jay Rana / March 16, 2023

Lewis structure of CO



O gás monóxido de carbono é incolor e não tem cheiro, então você não pode dizer se está ao seu redor.

Os sintomas de envenenamento por monóxido de carbono incluem:

dor de cabeça; tontura; sentir-se doente ou estar doente; se sentindo fraco; confusão; dores no peito e músculos; falta de ar. Os sintomas podem ir e vir. Eles podem piorar quando você passa algum tempo em uma sala ou prédio afetado e melhorar quando você sai ou sai de casa.

Os efeitos do envenenamento por monóxido de carbono são bem compreendidos.

O gás CO compete com o oxigênio (O_2) para se ligar à hemoglobina no sangue, levando a uma redução de oxigênio no cérebro. Mesmo níveis baixos de monóxido de carbono por longos períodos podem ter um impacto na química do cérebro.

Embora os níveis exatos de monóxido de carbono de curto e longo prazo recomendados pela ASHRAE, OSHA, NIOSH e outras organizações sejam diferentes, o consenso é que:

9 ppm é o nível máximo de monóxido de carbono seguro (média de 8 horas);

200 ppm ou mais causará sintomas físicos e é fatal em horas e

800 ppm de CO ou mais no ar é fatal em minutos.

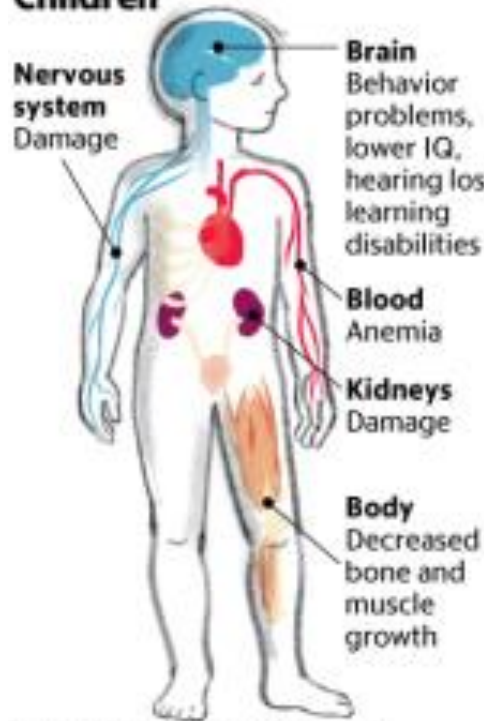
Chumbo (Pb) no material particulado é um parâmetro a ser monitorado em áreas específicas, em função da tipologia das fontes de emissões atmosféricas e a critério do órgão ambiental competente.

Não há evidências de um limiar abaixo do qual o chumbo não tenha efeitos adversos à saúde. Sabe-se agora que os níveis de chumbo no sangue anteriormente considerados seguros causam efeitos sutis e crônicos à saúde. Os efeitos na saúde da exposição ao chumbo incluem neurotoxicidade no desenvolvimento, disfunção reprodutiva e toxicidade para os rins, sangue e sistemas endócrinos (Sanborn et al., Identifying and managing adverse environmental health effects: 3. Lead exposure, CMAJ, 166(10): 1287–1292, 2002)

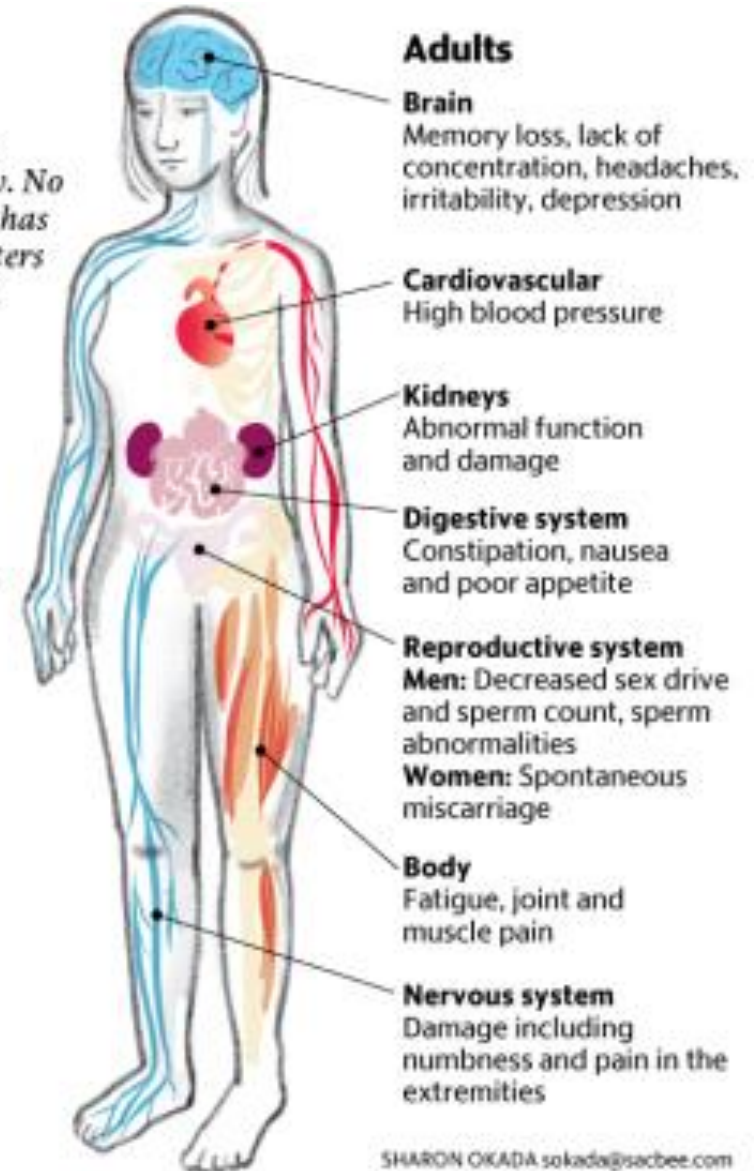
Lead exposure

Although often without obvious symptoms, lead exposure can affect nearly every part of the human body. No safe level of lead in the bloodstream has been determined by the federal Centers for Disease Control and Prevention.

Children



Sources: Centers for Disease Control and Prevention; National Institutes of Health



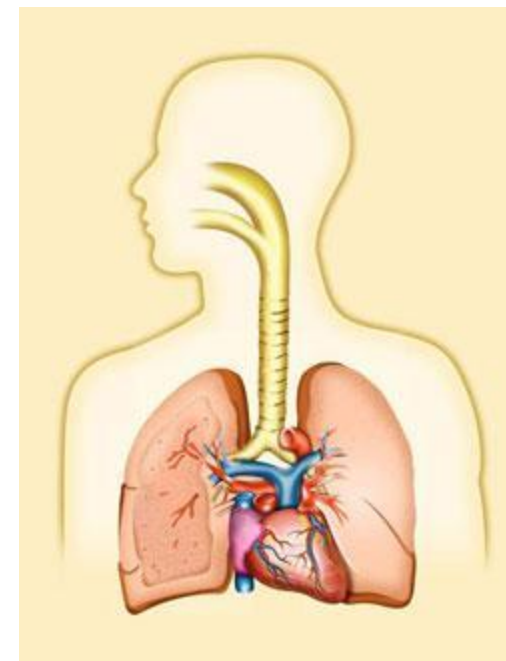
Efeitos da poluição por ozônio na saúde

O ozônio no ar que respiramos pode prejudicar nossa saúde, especialmente em dias quentes e ensolarados, quando o ozônio pode atingir níveis prejudiciais à saúde. Mesmo níveis relativamente baixos de ozônio podem causar efeitos na saúde.

Quem corre risco?

- pessoas com asma, crianças, adultos mais velhos e pessoas que praticam atividades ao ar livre, especialmente os que trabalham ao ar livre;
- pessoas com certas características genéticas e pessoas com ingestão reduzida de certos nutrientes, como vitaminas C e E.

As crianças correm maior risco de exposição ao ozônio porque seus pulmões ainda estão em desenvolvimento e são mais propensas a serem ativas ao ar livre quando os níveis de ozônio estão altos, o que aumenta sua exposição.

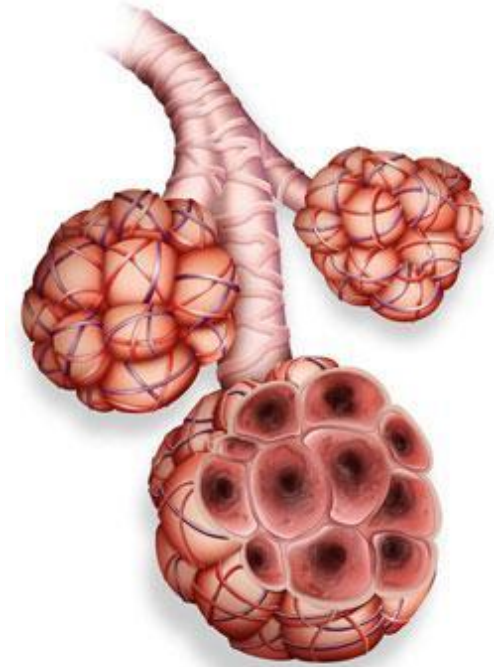


O ozônio é um oxidante poderoso que pode irritar as vias respiratórias.

Quais problemas de saúde o ozônio pode causar?

Dependendo do nível de exposição, o ozônio pode:

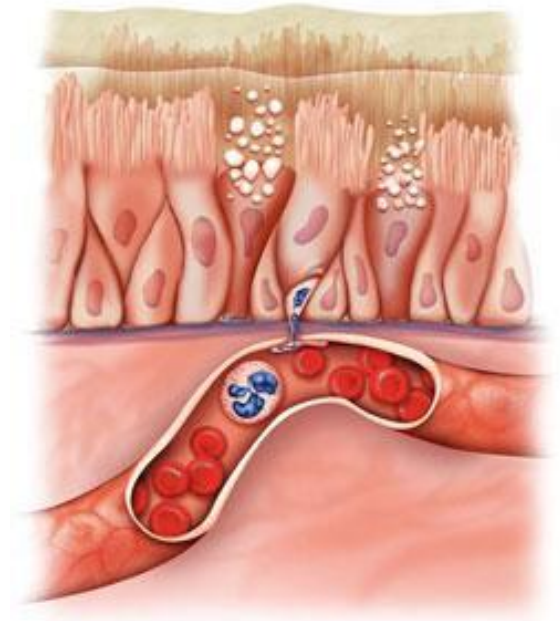
- causar tosse e garganta inflamada ou arranhada;
- tornar mais difícil respirar profunda e vigorosamente e causar dor ao respirar fundo;
- inflama e danifica as vias respiratórias;
- tornar os pulmões mais suscetíveis a infecções;
- Agravar as doenças pulmonares, como asma, enfisema e bronquite crônica;
- aumentar a frequência das crises de asma.



O ozônio pode fazer com que os músculos das vias aéreas se contraíam, prendendo o ar nos alvéolos. Isso leva a respiração ofegante e falta de ar.

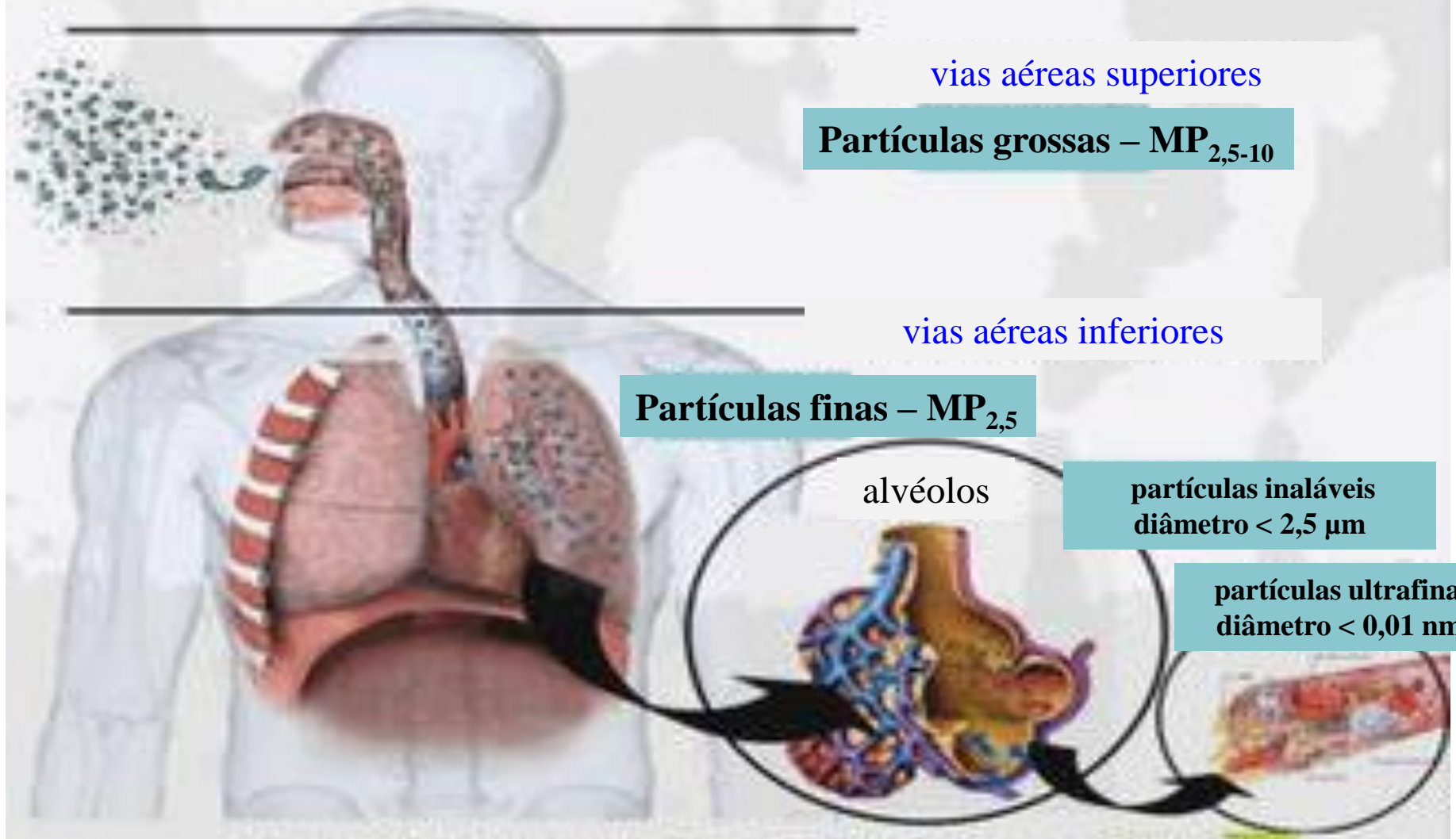
Quais problemas de saúde o ozônio pode causar?

- ❑ Alguns desses efeitos foram encontrados até mesmo em pessoas saudáveis, mas os efeitos podem ser mais graves em pessoas com doenças pulmonares, como asma.
- ❑ Eles podem levar ao aumento de faltas escolares, uso de medicamentos, visitas a médicos e salas de emergência e admissões hospitalares.
- ❑ A exposição de longo prazo ao ozônio está associada ao agravamento da asma e é provavelmente uma das muitas causas do desenvolvimento da asma.
- ❑ Estudos em locais com concentrações elevadas também relatam associações de ozônio com mortes por causas respiratórias.

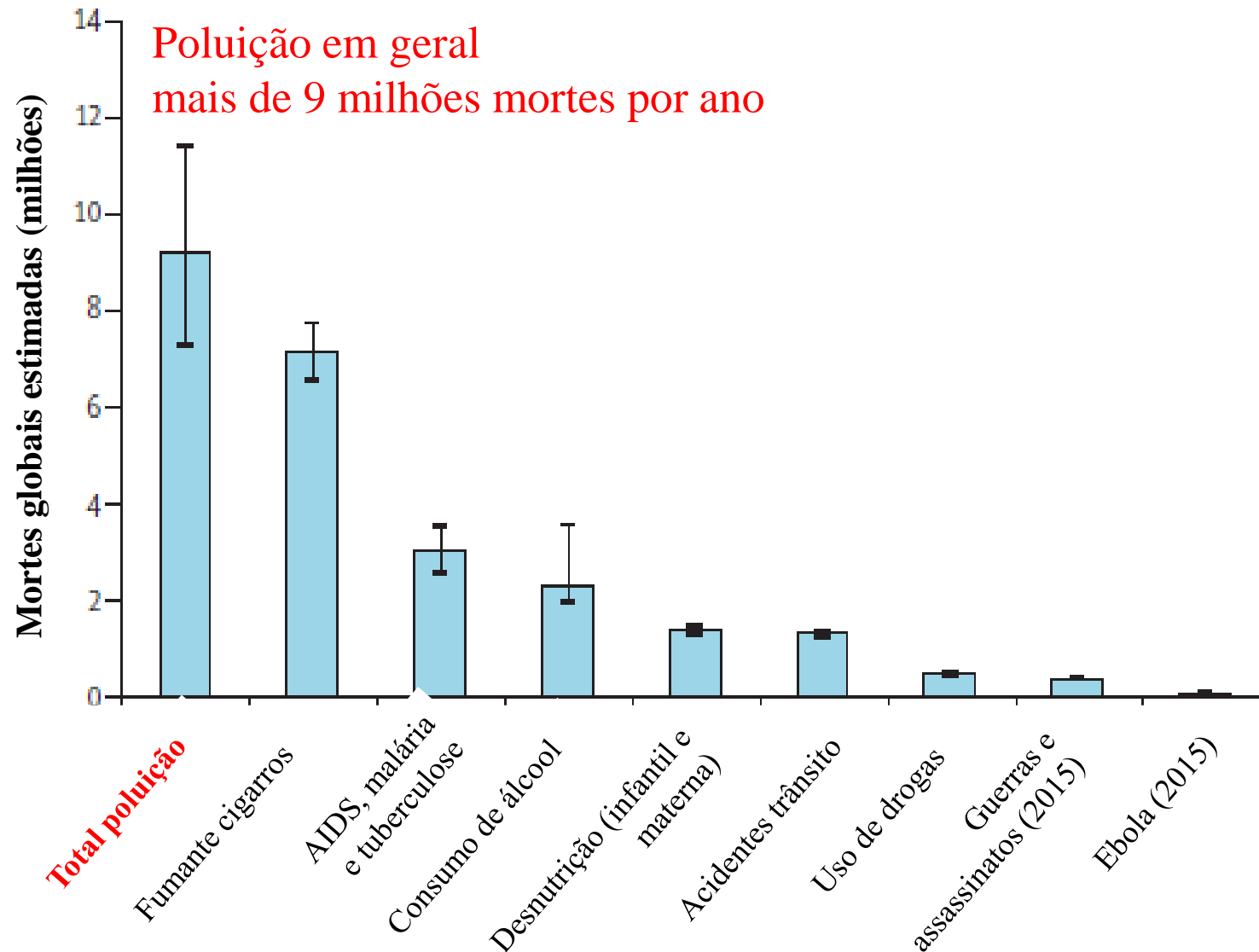


Com a inflamação causada pelo ozônio, o revestimento das vias aéreas é danificado, que pode ser comparado à inflamação da pele causada por queimaduras solares.

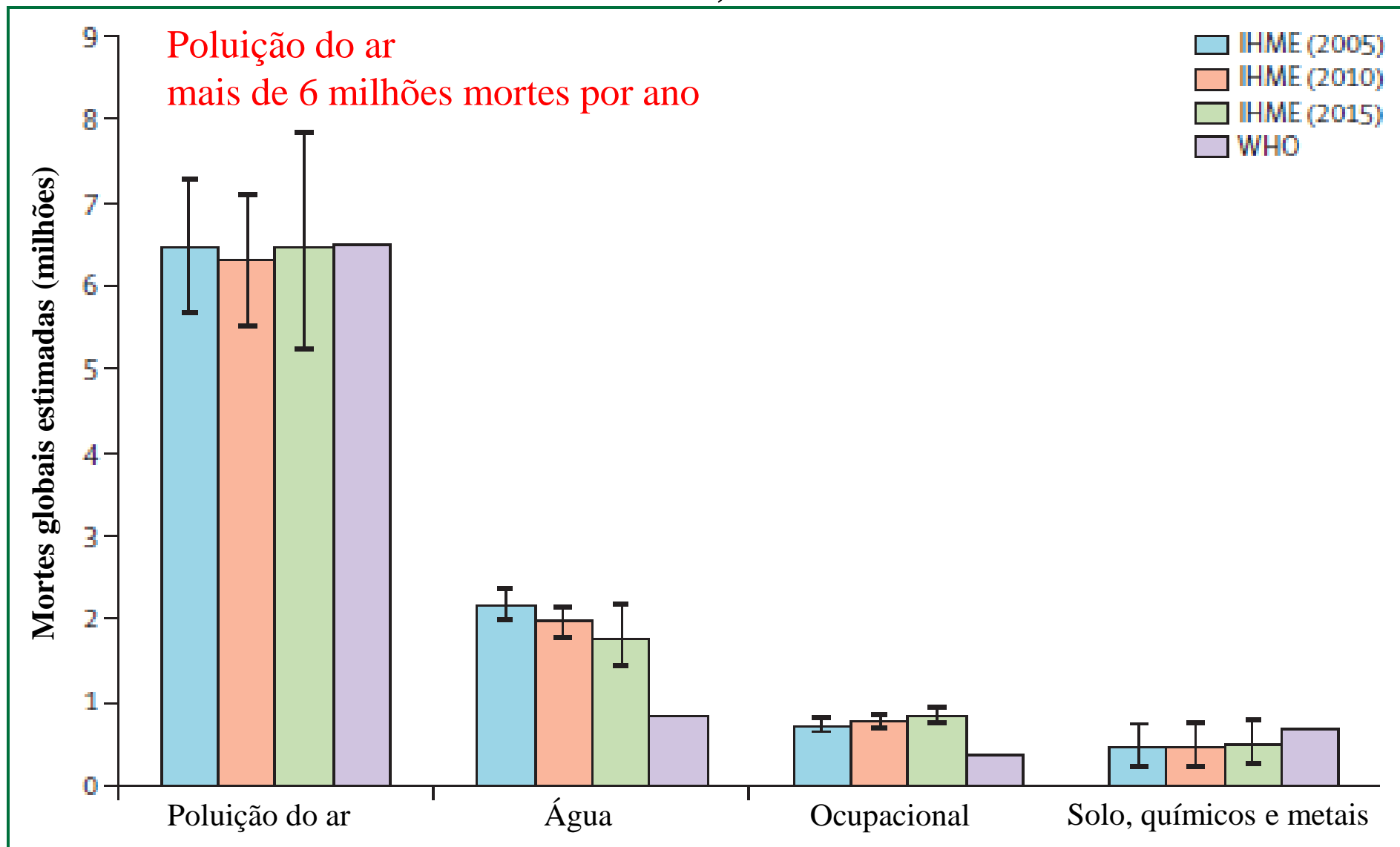
Sistema respiratório e material particulado



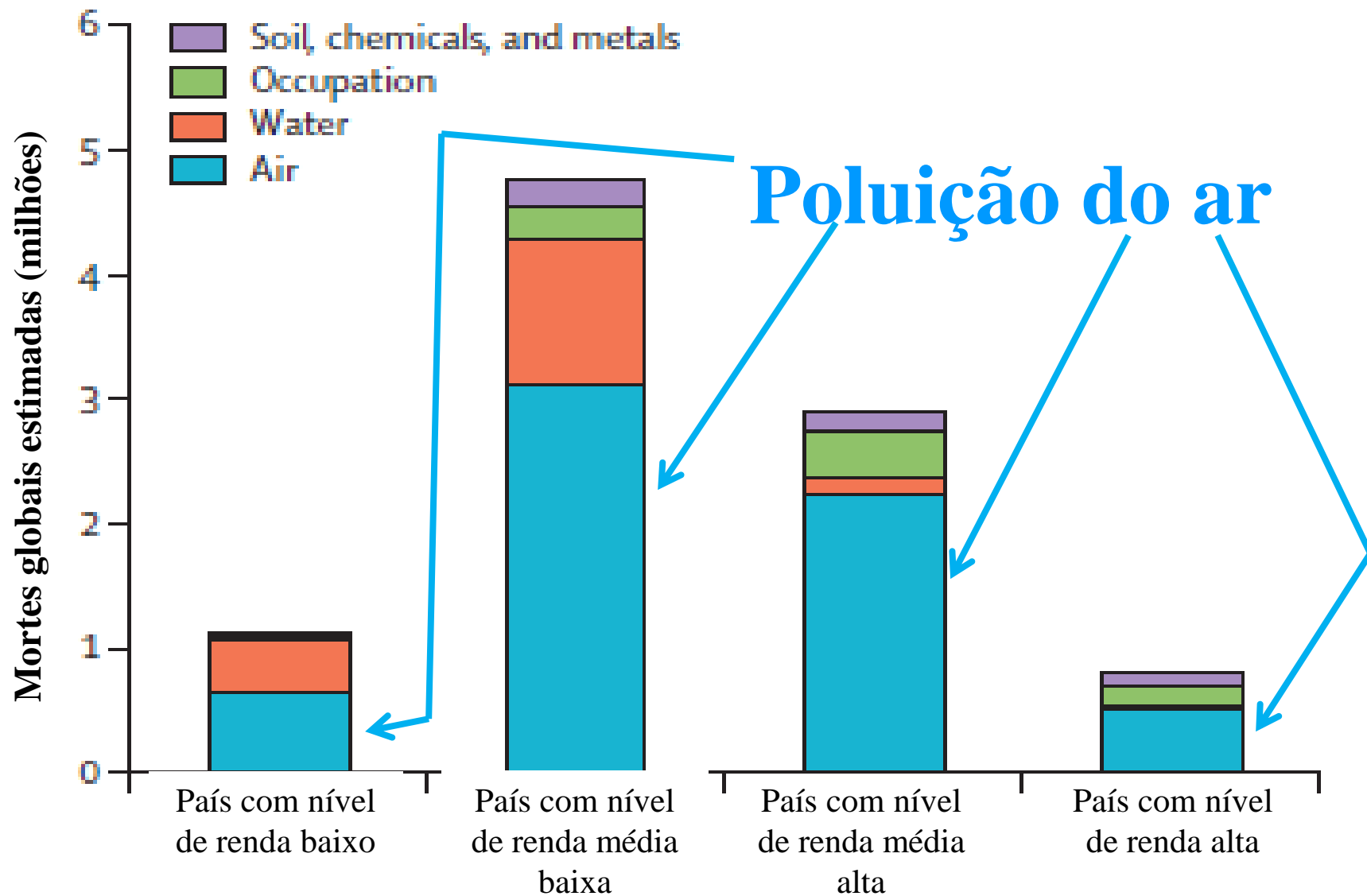
Mortes globais estimadas (milhões) para diferentes fatores de risco, 2005–2015



Mortes globais estimadas (milhões) por poluição como fator de risco, 2005–2015



Mortes globais estimadas (milhões) por poluição como fator de risco em função da renda do país. 2005–2015





Health Topics ▾

Countries ▾

News ▾

Emergencies ▾

About Us ▾

Air pollution

Air pollution – a leading cause of NCD deaths

Most air pollution-related deaths are from noncommunicable diseases (NCDs). In terms of global disease burden, air pollution is the cause of over one-third of deaths from stroke, lung cancer, and chronic respiratory disease, and one-quarter of deaths from ischaemic heart disease.

↓ [Mortality from both ambient and household air pollution for 2016](#)
pdf, 180kb

↓ [Air pollution and NCDs: key figures](#)
pdf, 227kb

THE INVISIBLE KILLER

Air pollution may not always be visible, but it can be deadly.



29%

OF DEATHS FROM
LUNG CANCER



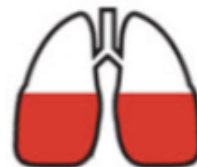
24%

OF DEATHS FROM
STROKE



25%

OF DEATHS FROM
HEART DISEASE



43%

OF DEATHS FROM
LUNG DISEASE



**World Health
Organization**

<https://www.who.int/airpollution/en/>

91%

da população mundial vive em locais onde a qualidade do ar excede os limites das diretrizes da Organização Mundial da Saúde (OMS)

4,2 milhões

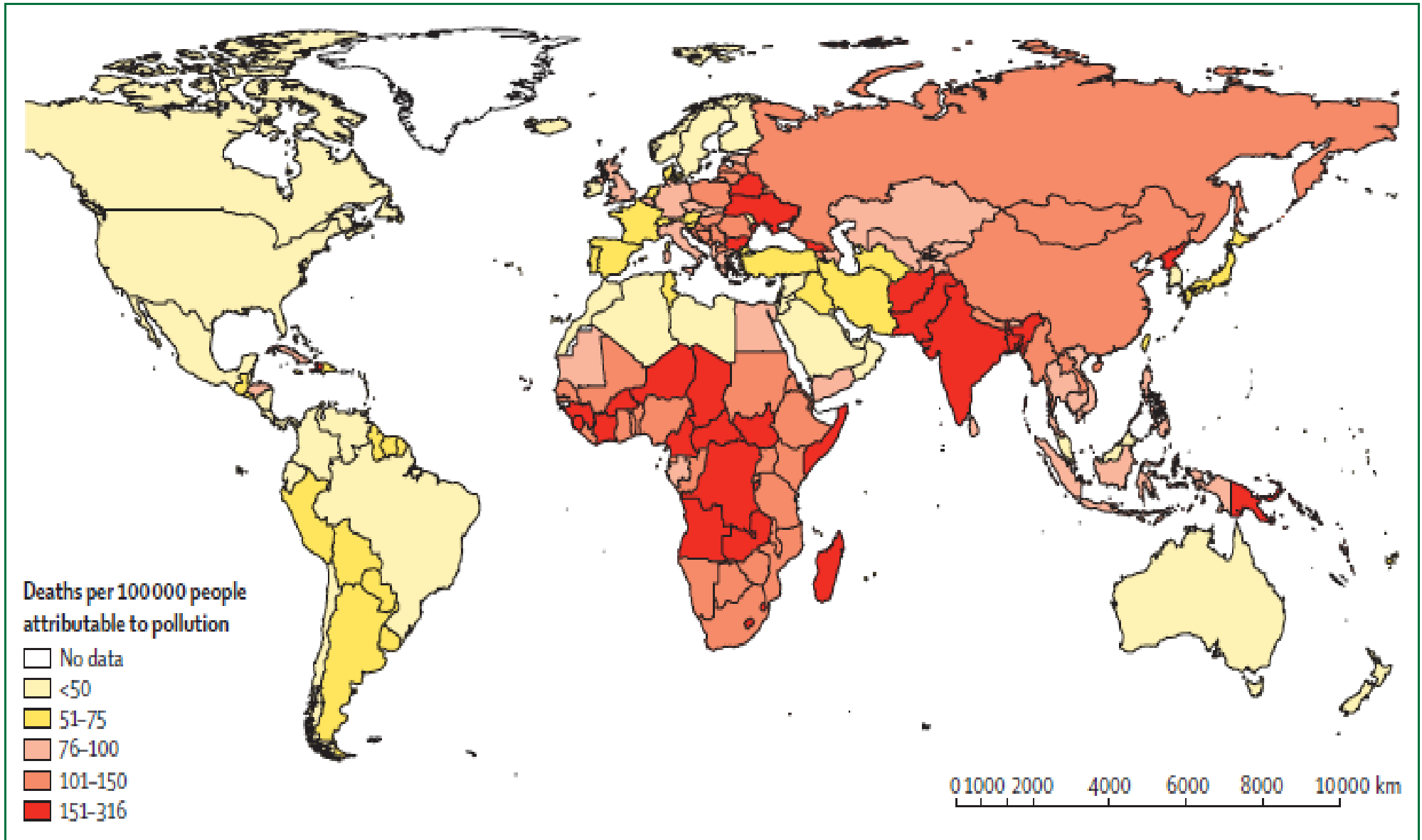
mortes todos os anos como resultado da exposição à poluição atmosférica ao ar livre

3,8 milhões

mortes a cada ano como resultado da exposição das famílias à fumaça de fogões de combustíveis sujos (carvão, madeira, lixo....)

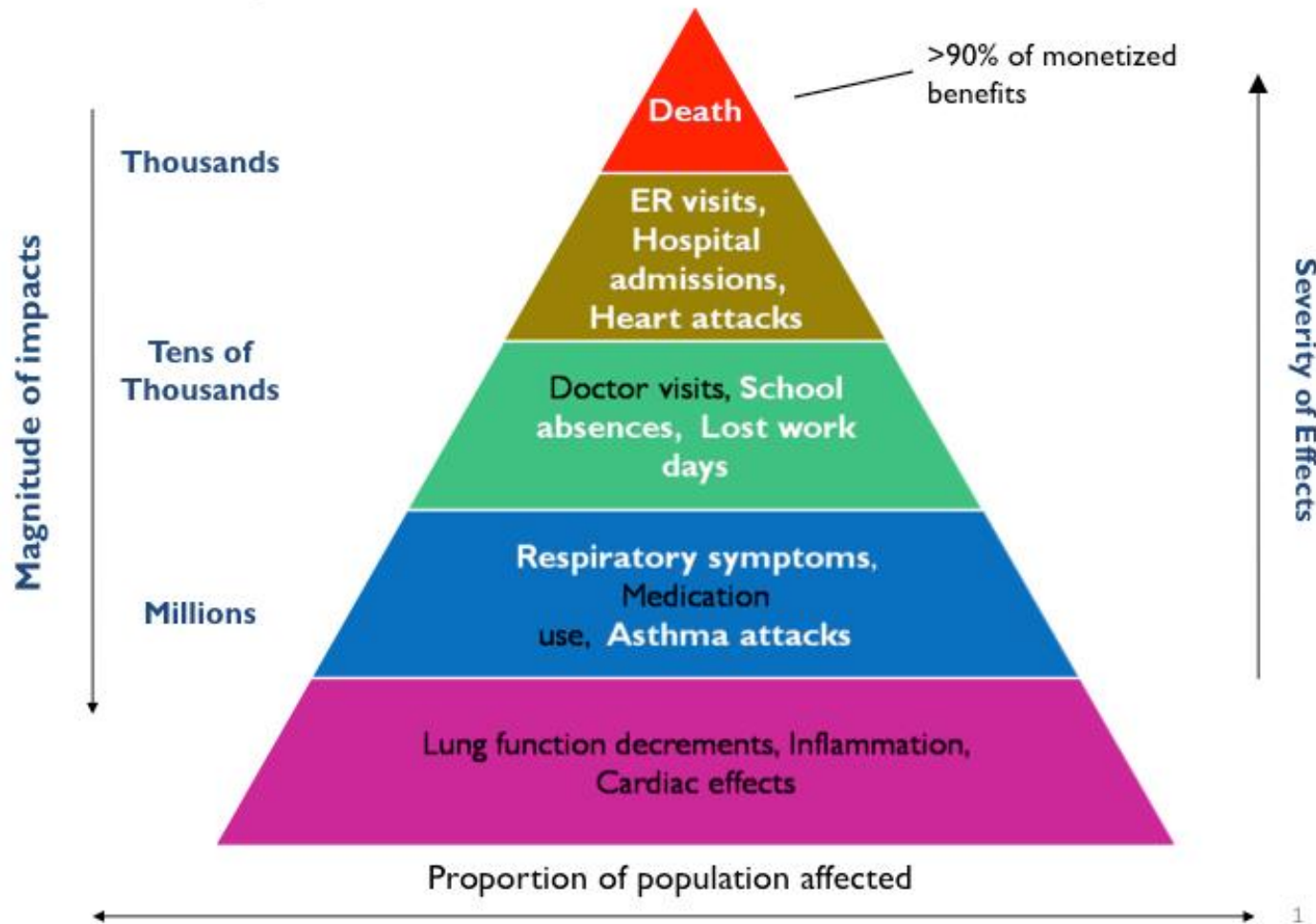
Total de 8 milhões de mortes no mundo devido poluição do ar em 2018

Distribuição do número de mortes por 100 000 pessoas **atribuíveis a todas as formas de poluição, 2015**



Estimativas dos efeitos econômicos e para a saúde devido poluição do ar

A “Pyramid of Effects” from Air Pollution



• **Partículas finas** podem entrar profundamente nos pulmões e atingir a corrente sanguínea. Os impactos das partículas na saúde incluem:

- morte prematura;
- ataques cardíacos não fatais;
- asma agravada.

O **ozônio ao nível do solo** é um oxidante que pode irritar as vias respiratórias nos pulmões. Os impactos do ozônio na saúde incluem:

- morte prematura;
- asma agravada;
- dias perdidos de escola

Efeitos da poluição por ozônio nos ecossistemas

Quando ozônio suficiente entra nas folhas de uma planta sensível, ele pode:

- ❖ reduzir a fotossíntese, que é o processo que as plantas usam para converter a luz solar em energia para viver e crescer.

- ❖ retardar o crescimento da planta.

- ❖ Em plantas sensíveis aumenta o risco de:

- ✓ doença

- ✓ dano por insetos

- ✓ efeitos de outros poluentes

- ✓ danos causados pelo mau tempo (chuvas, secas, frio e calor intensos).

Além disso, algumas plantas podem mostrar marcas visíveis em suas folhas quando o ozônio está presente sob certas condições.



Efeitos da poluição por ozônio nos ecossistemas

O ozônio pode afetar a vegetação e os ecossistemas sensíveis, incluindo florestas, parques, refúgios de vida selvagem e áreas selvagens.

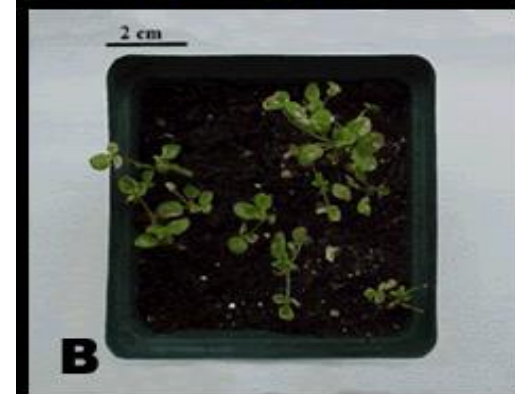
O que acontece com o ecossistema?

Os efeitos do ozônio em plantas individuais podem ter impactos negativos nos ecossistemas, incluindo:

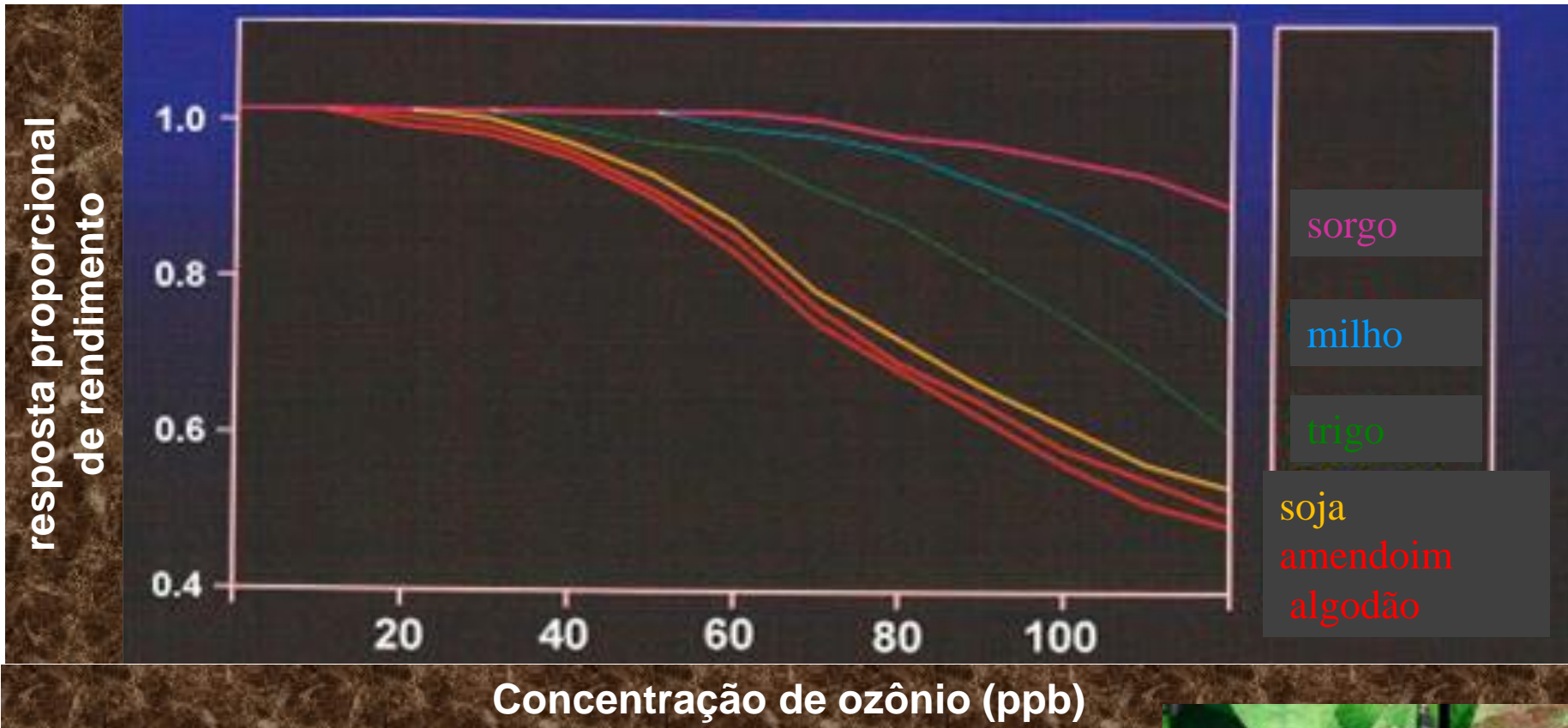
- perda de diversidade de espécies (menos variedade de plantas, animais, insetos e peixes);
- mudanças no sortimento específico de plantas presentes em uma floresta;
- mudanças na qualidade do habitat;
- mudanças nos ciclos de água e nutrientes.

<https://www.epa.gov/ground-level-ozone-pollution/ecosystem-effects-ozone-pollution>

Efeitos da poluição do ar à vegetação



Efeitos do ozônio as plantas



Ozônio ao nível do solo é absorvido pelas folhas das plantas, reduzindo a fotossíntese e causando diminuição do crescimento, também pode tornar as plantas sensíveis mais suscetíveis a determinadas doenças, insetos, intempérie e outros poluentes.



Efeitos da poluição do ar: deposição ácida



Deterioração de mármore - Herten, Alemanha.

Perda de visibilidade

foto : Marcelo de Paula Corrêa



São Paulo
Cidade Universitária

foto : Marcelo de Paula Corrêa



O ar limpo é considerado um requisito básico para o bem estar e saúde humana. Porém, a poluição atmosférica continua a ser uma ameaça significativa para a saúde mundial (WHO, 2005).

Poluição do ar → “quando gases ou partículas emitidos pela ação humana, atingem concentrações suficientemente altas que causam danos diretos ou indiretos para plantas, animais, outras formas de vida, ecossistemas, estruturas ou obras de arte (Jacobson, 2002).

Organização Mundial da Saúde OMS ou WHO)

Air quality guidelines - global update 2005



As Diretrizes se aplicam em todo o mundo e são baseadas na avaliação de especialistas de evidências científicas atuais para:

- particulate matter (PM)
- ozone (O₃)
- nitrogen dioxide (NO₂) and
- sulfur dioxide (SO₂),
- in all WHO regions.

http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/outdoorair_aqg/en/

Recomendações da Organização Mundial da Saúde (OMS)

WHO Air quality guidelines - global update 2005

Valores recomendados

MP_{2.5}

10 µg/m³ média anual

25 µg/m³ média 24-horas

MP₁₀

20 µg/m³ média anual

50 µg/m³ média 24-horas

Dióxido de nitrogênio (NO₂)

40 µg/m³ média anual

200 µg/m³ média 1-hora

Dióxido de enxofre (SO₂)

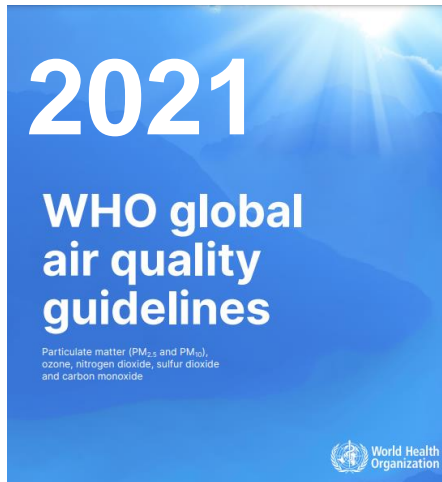
20 µg/m³ média 24-horas

500 µg/m³ média 10-minutos

Ozônio (O₃)

100 µg/m³ média 8-horas

<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/>



WHO Air quality guidelines - 2021

MP_{2.5}

5 µg/m³ média anual

15 µg/m³ média 24-horas

MP₁₀

15 µg/m³ média anual

45 µg/m³ média 24-horas

Dióxido de nitrogênio (NO₂)

10 µg/m³ média anual

25 µg/m³ média 24-horas

Ozônio (O₃)

100 µg/m³ média 8-horas

AIR POLLUTION – THE SILENT KILLER



Every year, around **7 MILLION DEATHS** are due to exposure from both outdoor and household air pollution.

Air pollution is a major environmental risk to health.
By reducing air pollution levels, countries can reduce:



Stroke



Heart disease



Lung cancer, chronic obstructive pulmonary disease, pneumonia and asthma

REGIONAL ESTIMATES ACCORDING TO WHO REGIONAL GROUPINGS:



- More than 2 million** in South-East Asia Region
- More than 2 million** in Western Pacific Region
- 1 million** in Africa Region
- 500 000** deaths in Eastern Mediterranean Region
- 500 000** deaths in European Region
- More than 300 000** in the Region of the Americas

WHO Air Quality Guidelines set goals to protect millions of lives from air pollution.

CLEAN AIR FOR HEALTH

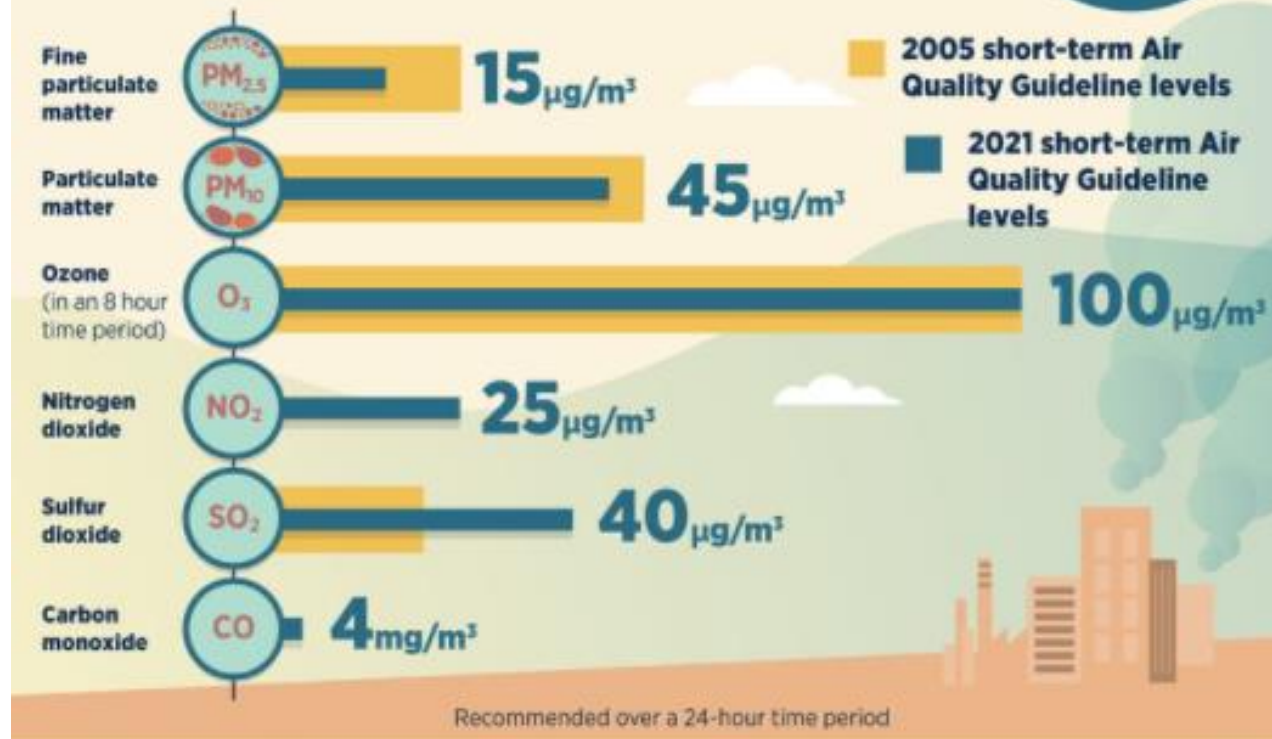
#AirPollution



NEW WHO AIR QUALITY GUIDELINES SET CLEAR GOALS TO HELP IMPROVE AIR QUALITY FOR ALL



Valores recomendados (24 horas e 8 horas)



WHO Air Quality Guidelines set goals to protect millions of lives from air pollution.

CLEAN AIR FOR HEALTH

#AirPollution



<https://who.canto.global/v/LOJV1PH4GO/album/LFSA6?display=fitView&viewIndex=0>

Aspectos históricos

Historicamente

A preocupação com o ar que respiramos é um fenômeno antigo:

*“Comparing the air of cities to the air of deserts and arid lands is like comparing waters that are befouled and turbid to waters that are fine and pure.... the **air becomes stagnant, turbid, thick, misty and foggy**”*

Moses Maimonides (1135-1204)

(Século 12-13)

“Comparando-se o ar das cidades com o ar de desertos e terras áridas é como comparar águas contaminadas e turvas com águas que são finas e puras **o ar torna-se estagnado, turvo, espesso, úmido e com nevoeiro.**”

Finlayson-Pitts e Pitts, 2000

- ❖ A Rainha Eleanor (esposa de Eduardo I) registrou a primeira queixa contra o ar sujo na Inglaterra quando visitou Nottingham em 1257 (séc. 13);
- ❖ Os londrinos falavam da poluição do ar no século XIV;
- ❖ as operações de mineração na Inglaterra medieval causaram tanta poluição que o rei Eduardo I, em **1307**, emitiu uma proclamação real fazendo da queima de carvão uma **ofensa capital** durante sessão do Parlamento;

energia

- aquecimento
- cozimento de alimentos
- indústria

Londres, século 12 – madeira se torna escassa e muito cara

○ início consumo em grande escala de carvão

○ queima pouco eficiente, produzindo pouco calor e muita fumaça

Tentativas de controle de queima de carvão:

1272, Edward I

1377-1399, Richard III

1413-1422, Henry V

1661, John Evelyn (jornalista) escreveu o tratado anti-carvão:

FUMIFUNGIUM: or the Inconvenience of the Aer and Smoake of London Dissipated



1661, John Evelyn (jornalista)

escreveu o tratado anti-carvão:

FUMIFUGIUM: or the Inconvenience of the Aer and Smoake of London Dissipated

Edição comemorativa de 250 anos: Environmental Protection UK 2011



FUMIFUGIUM:

MMXI

A 21ST CENTURY TRANSLATION OF A 17TH CENTURY ESSAY ON
AIR POLLUTION IN LONDON

★ SENT TO KING CHARLES II BY THE WRITER JOHN EVELYN ★

PUBLISHED BY ENVIRONMENTAL PROTECTION UK



Environmental Protection UK is a national charity that provides expert policy analysis and advice on air quality, land quality, waste and noise and their effects on people and communities in terms of a wide range of issues including public health, planning, transport, energy and climate.
www.environmental-protection.org.uk

The Healthy Air Campaign seeks to increase public awareness and understanding of the health impacts of air pollution and help communities mitigate those impacts and adapt to reduce them. It is led by Environmental Protection UK and supported by a growing coalition of health, environment and transport NGOs.
Get involved at www.healthyaire.org.uk

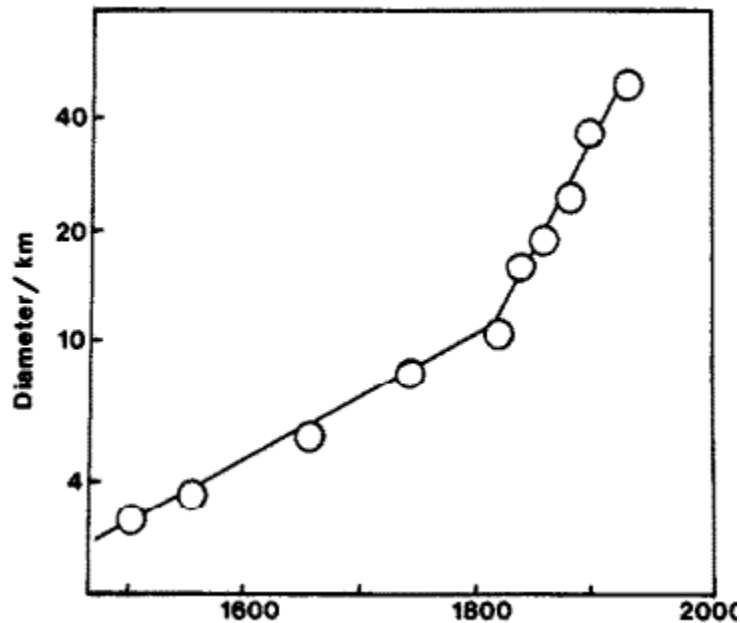
- Século 17

“It is horrid smoke which obscures our Church and makes our palaces look old, which fouls our cloth and corrupts the waters, so as the very rain, and refreshing dews which fall in the several seasons, precipitate to impure vapour, which, with its black and tenacious quality, spots, contaminates whatever is exposed to it.”

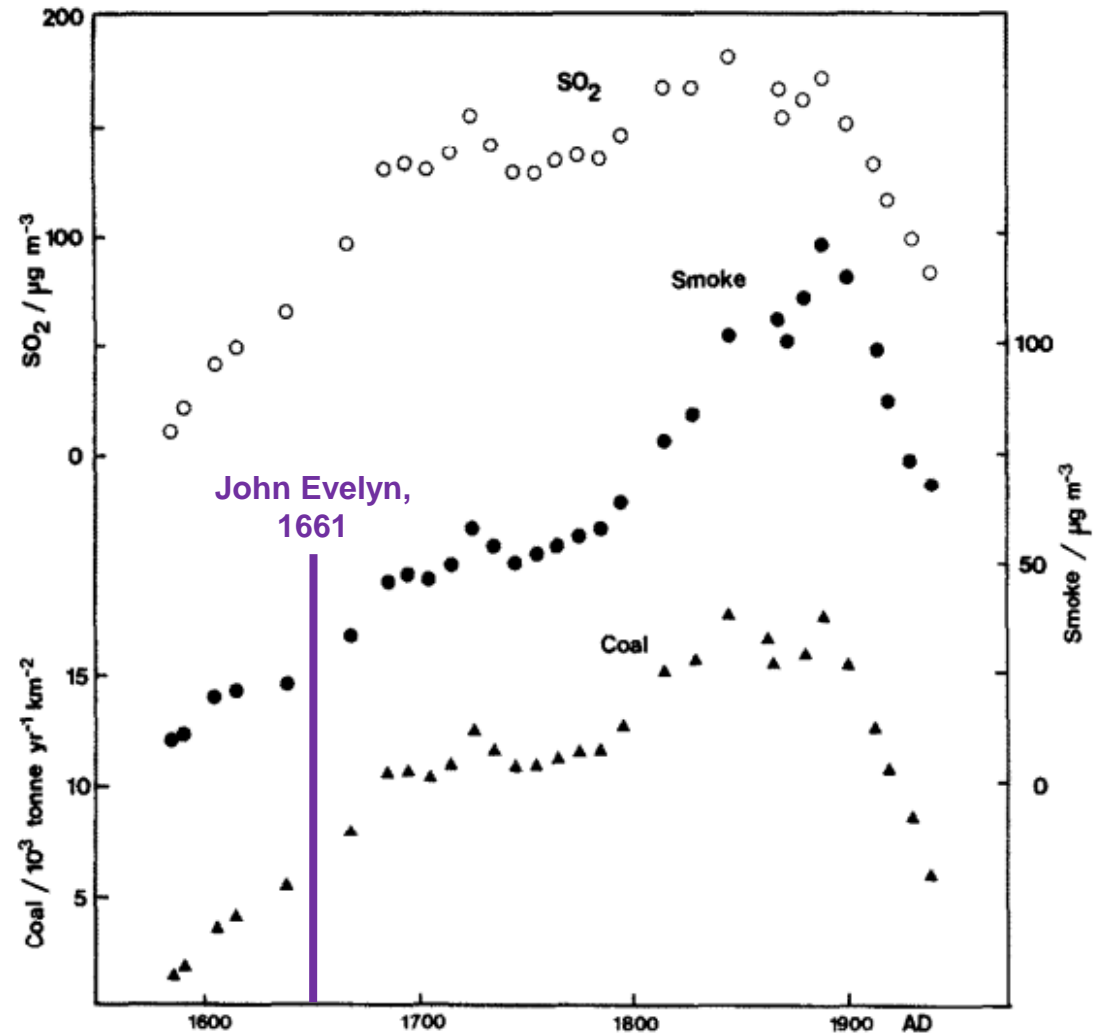
John Evelyn

“A fumaça repugnante que obscurece nossa Igreja e faz nossos palácios parecerem velhos, que deteriora nossos tecidos e corrompe as águas, precipita como vapor impuro e preto em chuva e orvalhos refrescantes que caem nas várias estações e, assim contamina qualquer lugar que a isto é exposto.”

POLUIÇÃO DO AR LONDRES, 1500-1900



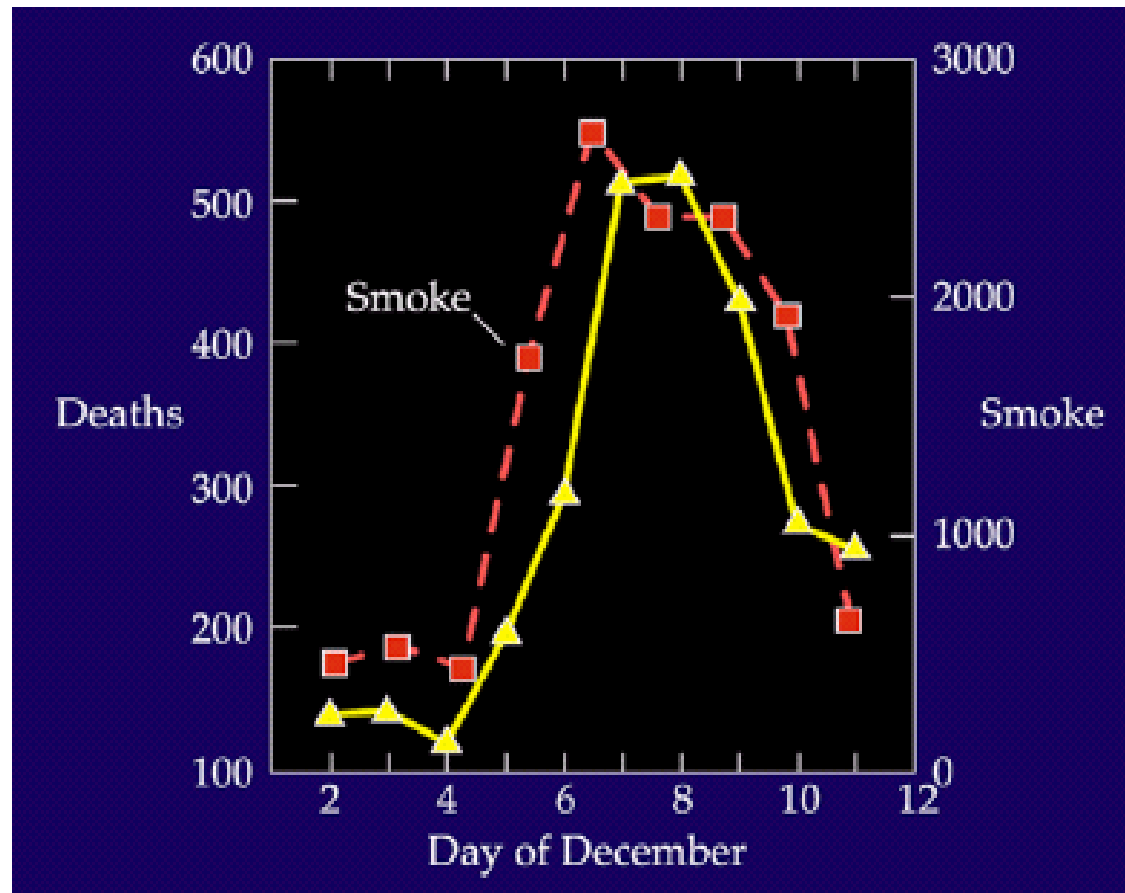
Diâmetro da área construída de Londres (escala semi logarítmica)



Concentrações **médias decadais** de dióxido de enxofre e fumaça no ar de Londres, conforme determinado a partir das importações de carvão.



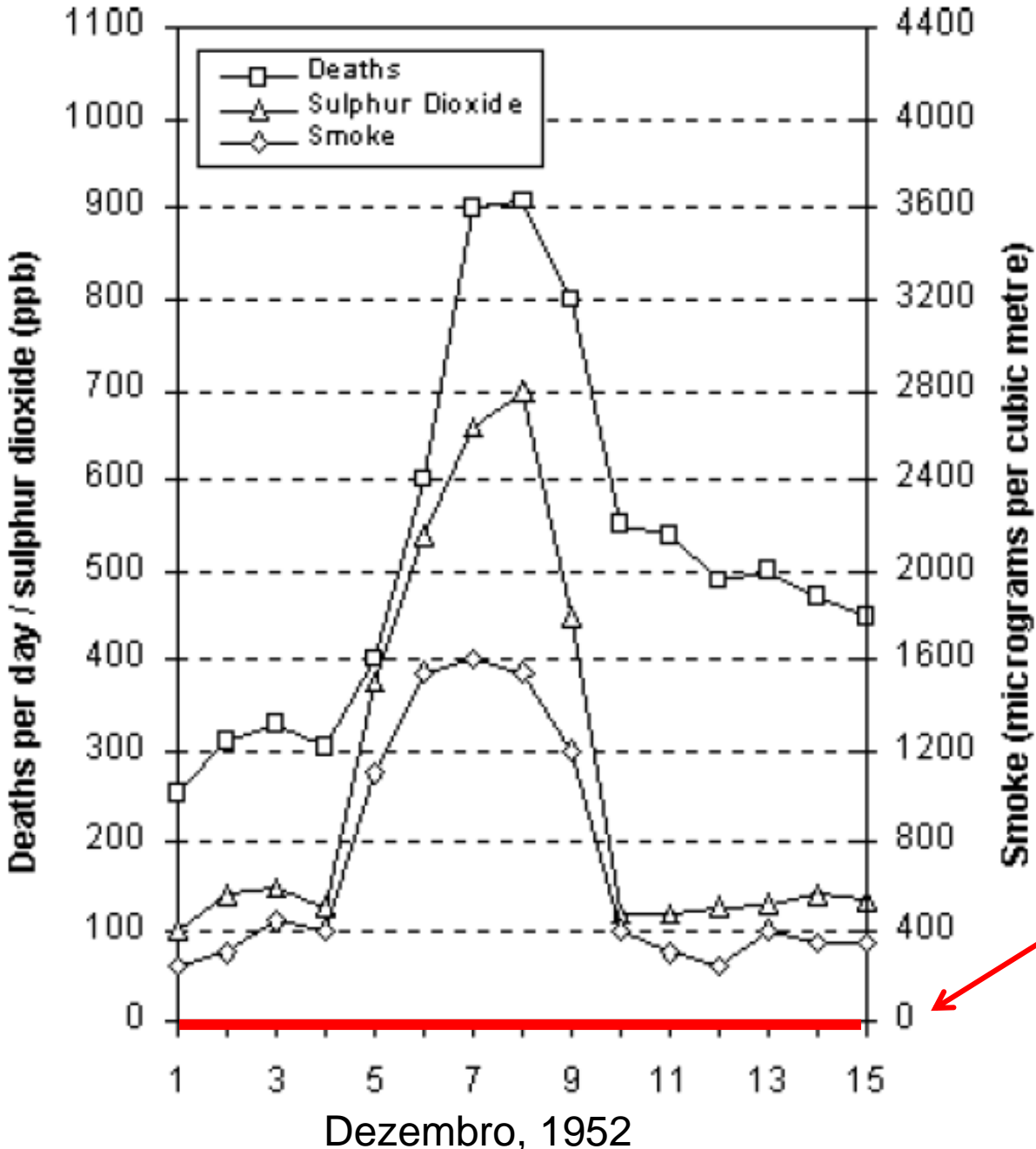
O episódio de poluição atmosférica em Londres, 1952: relação entre concentração de fumaça, SO₂ e óbitos



Vejam mais fotos:

<https://www.theguardian.com/environment/gallery/2012/dec/05/60-years-great-smog-london-in-pictures>

Wilkins, E. T. (1954). *Air pollution aspects of the London fog of December 1952. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 80(344), 267–271.



OMS, 2005 –
recomendação
média 24-horas

SO₂
8 ppb
MP₁₀
50 µg/m³

Reassessment of the Lethal London Fog of 1952: Novel Indicators of Acute and Chronic Consequences of Acute Exposure to Air Pollution

Michelle L. Bell¹ and Devra Lee Davis²

Environmental Health Perspectives • VOLUME 109 | SUPPLEMENT 3 | June 2001

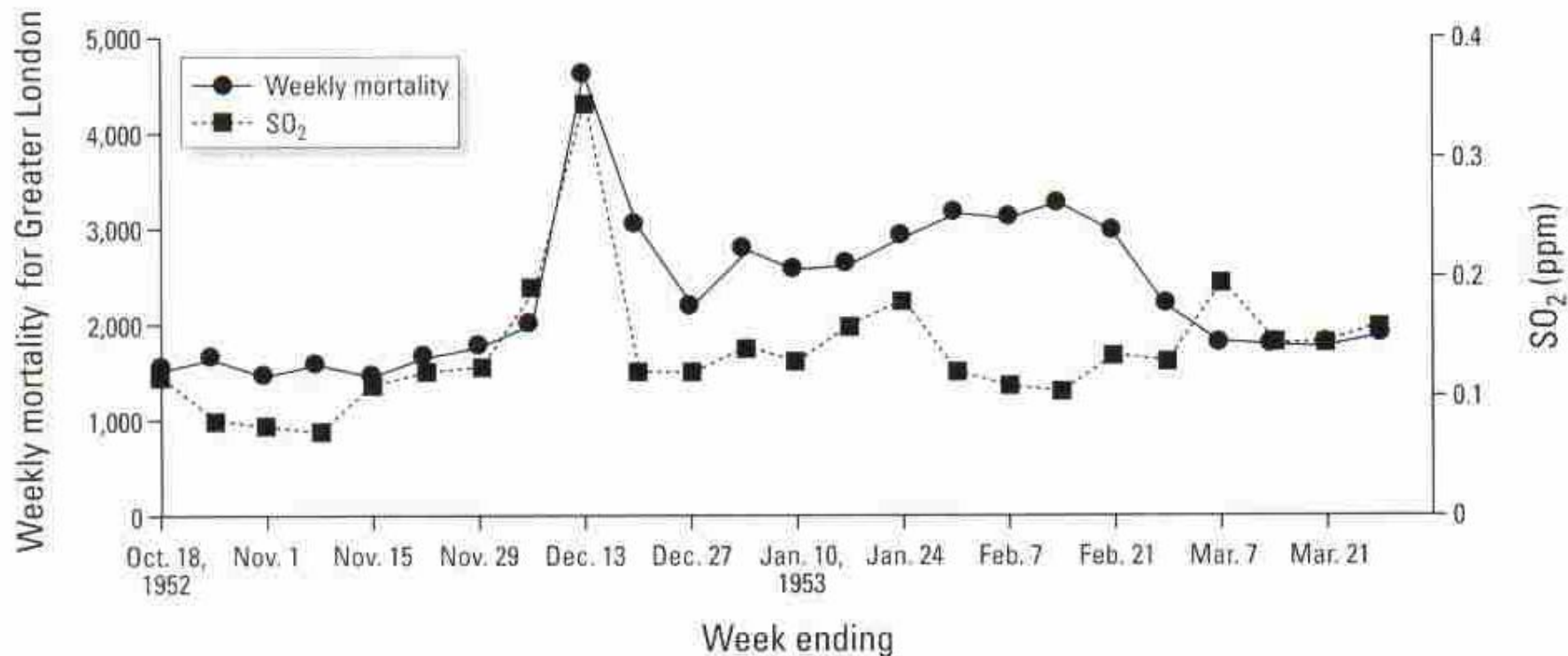
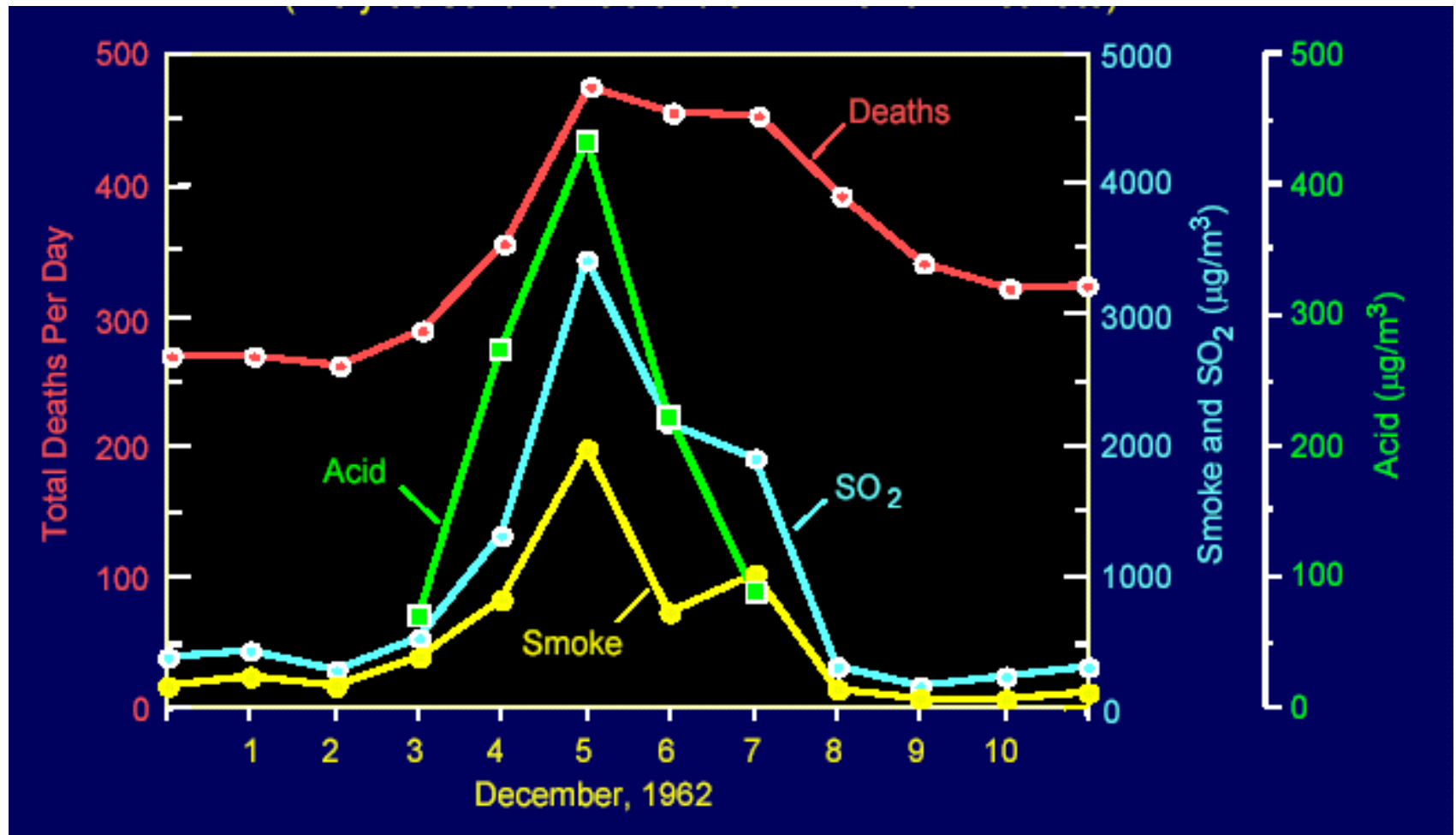


Figure 1. Approximate weekly mortality and SO₂ concentrations for Greater London, 1952–1953.

12 mil mortes associadas ao evento de *smog* em Londres, 30/11/1952 – 28/02/1953

If the official estimates of influenza deaths are inflated, as evidenced by our analyses, the number of unexplained excess deaths from 30 November 1952 to 28 February 1953 is about 12,000 (13,375 excess deaths minus 1,328 influenza deaths). This figure is based

Episódio de poluição atmosférica em Londres, 1962: confirmado a presença de aerossóis contendo sais de sulfato e ácido sulfúrico



Claude Monet: London Smog (anos 1890 e 1900)



século 19: mais de 1 milhão de londrinos queimando carvão

+

Condições meteorológicas desfavoráveis para dispersão

- 1873: estudos epidemiológicos indicaram 268 mortes por bronquite,
- virada do século 19 para 20: pouca visibilidade a partir das catedrais
(pontos altos da cidade),
- invernos cada vez mais escuros.

Londres, 1905
Harold Antoine des Voeux

{ **smog** = smoke + fog

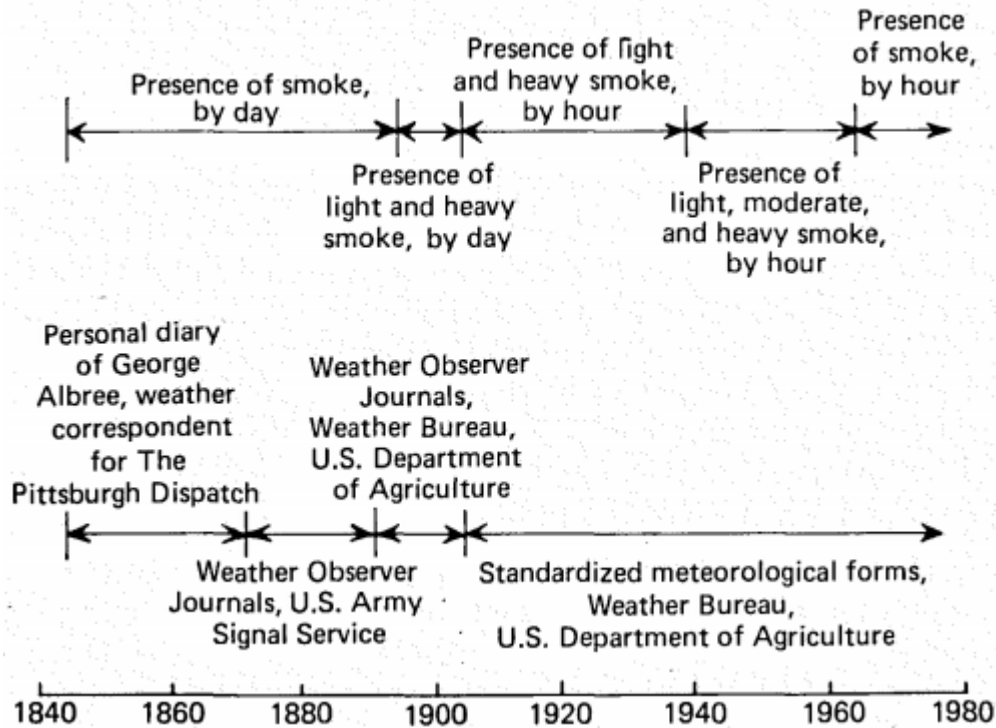
Cidade esfumaçada: Pittsburgh



1906-1910

A indústria siderúrgica começou no final dos anos 1700 e, na década de 1820, tornou-se a principal indústria da cidade. Nos 150 anos seguintes foi o centro da indústria siderúrgica do país, fornecendo aço para pontes, ferrovias e arranha-céus.

Pittsburgh, Pensilvânia, Estados Unidos



Dados sobre fumaça disponíveis no centro de Pittsburgh Office do U.S. Weather Bureau. A fumaça era considerada "densa" quando a visibilidade era inferior a 3/8 milhas (603 m). A fumaça "moderada" implicava uma visibilidade de menos de 3/4 de milhas (1207 m).

(1 milha = 1609 m)



Número de dias a cada ano durante os quais a fumaça (leve, moderada e / ou densa) foi registrada qualitativamente, de 1845 até o 1979 (Figura 1).

Cliff I. Davidson , Air pollution in Pittsburgh: A Historical Perspective, Journal of the Air Pollution Control Association, 29(10), 1035-1041 , 1979.

Donora, PA 1948



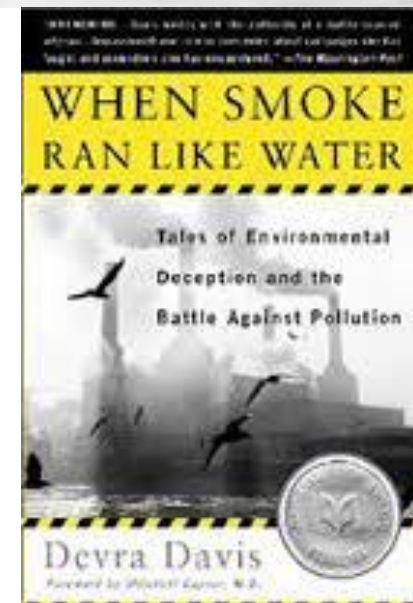
Em outubro de 1948, uma nuvem espessa de poluição se formou sobre a cidade industrial (fundição de zinco – poeira e SO_2) de Donora, na Pensilvânia. A nuvem que permaneceu por cinco dias matou 20 pessoas e causou doenças em seis mil das 14 mil pessoas da cidade.



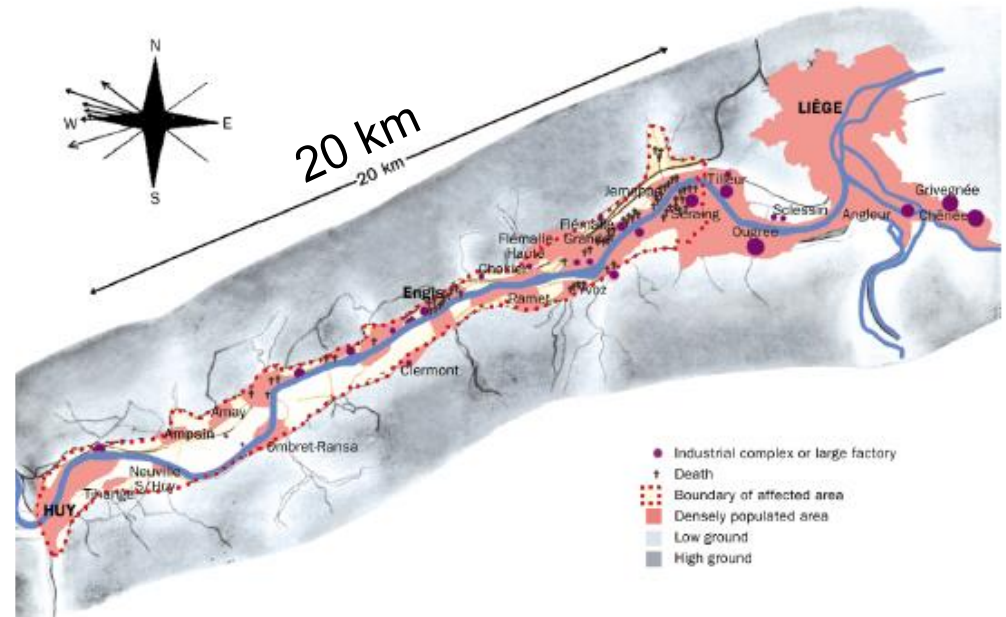
Donora se localiza 32 km ao sul de Pittsburg, ambas às margens do Rio Monongahela



Donora, Pensilvânia – Outubro de 1948 grande desastre de poluição de ar



Meuse Valley, Bélgica - 1930



Map of the Meuse Valley between Liège and Huy, indicating the fog-covered area and location of fatalities and factories

Um evento de inversão térmica ao longo de um trecho de 25 km do vale Meuse que continha muitas fazendas, aldeias, siderúrgicas e fábricas de produtos químicos. No final do primeiro dia, muitos moradores se queixaram de náuseas, respiração curta, ardor nos olhos e ardor na garganta. Em três dias, 60 pessoas morreram e outras milhares ficaram doentes com uma "doença" desconhecida.

Firket, Fog along the Meuse Valley, Trans. Faraday Soc., 32, 1192-1196, 1936.

Nemery, Hoet, Nemmar, The Meuse Valley fog of 1930: an air pollution disaster, The Lancet, 357, 704-708, 2001

smog = smoke + fog
(poeira + neblina)

Queima de carvão (Revolução industrial) –
smog sulfuroso ou londrino (London smog)

Eventos de excesso de óbitos associados ao “smog”

Ano	Lugar	Número de óbitos em excesso
1930	Vale do Meuse, Bélgica	63
1948	Donora, Pensilvânia	20
1952	Londres	4000
1962	Londres	700

1966	Nova York (24-30 novembro)	168
1984	Bhopal (India)	2000 (acidente químico)
1986	Chernobyl (URSS)	?? (acidente nuclear)

New York City



Foto da construção do
prédio Empire State em
evento de poluição de NY -
1930

Credit: Neal Boenzi/NYT Pictures



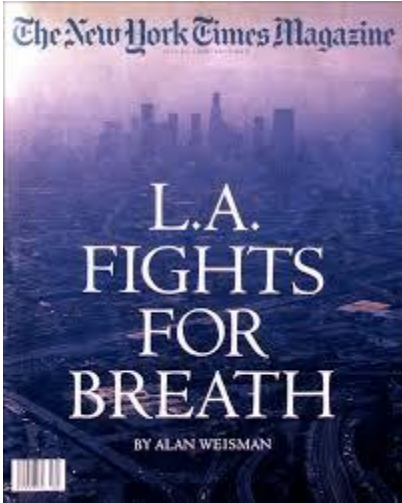
1966: New York City enterrada sob um
mar de poluição!!

Los Angeles 1955



Dense fog over the Los Angeles Civic Center, 1955. Note that the buildings project above the base of the inversion layer, while the smog remains below.

Nevoeiro denso sobre Los Angeles em 1955. Observe o topo dos prédios acima da base da camada de inversão, enquanto a fumaça continua abaixo.



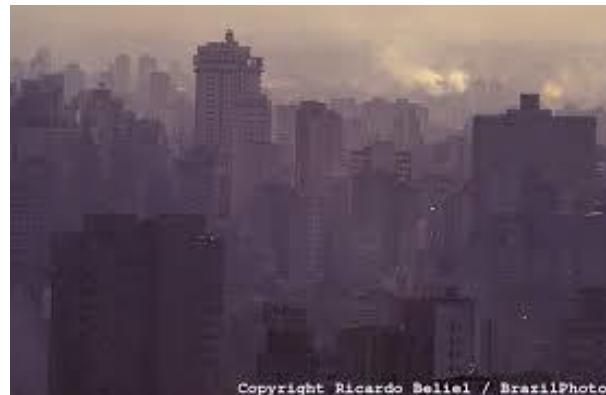
L.A. luta para respirar



Segunda metade do século 20:

Queima de combustíveis fósseis (veículos)

smog fotoquímico ou de Los-Angeles



Smog fotoquímico

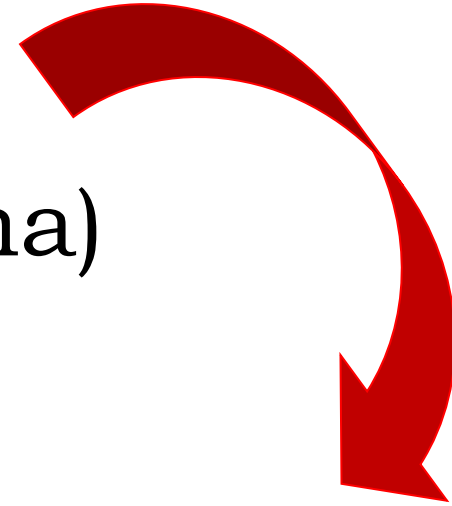


Smog fotoquímico em São Paulo (~1990).

O gás de cor castanha, NO_2 , é formado quando o NO , que é um gás incolor, reage com o oxigênio do ar.

(P.W. Atkins, “*Atoms, Electrons, and Change*”, pg. 135, 1991)

smog = smoke + fog
(poeira + neblina)



Poluição urbana

Queima de combustíveis fósseis (veículos) –

smog fotoquímico ou

Smog de Los-Angeles

Comparação entre as características gerais da **POLUIÇÃO DO AR (SMOG)
Sulfurosa (Londres) e Fotoquímica (Los Angeles, São Paulo)
(Finlayson-Pitts & Pitts, 1986).**

Características	Sulfurosa (Londres)	Fotoquímica (Los Angeles, São Paulo)
reconhecimento	século 19	século 20 (década de 40)
Poluentes primários	SO₂, partículas de fuligem	NO_x (NO+NO₂), Compostos orgânicos
Poluentes secundários	H₂SO₄, aerossóis, sulfatos, ácidos sulfônicos, etc.	O₃, HNO₃, aldeídos, PAN (peroxiacetil nitrato), nitratos, sulfatos, etc.
Temperatura	Frio (~2° C)	Quente (> 23° C)
Umidade relativa	alta, com neblina	baixa, quente e seco
Tipo de inversão	radiação (terra)	subsidiência
Picos de poluição	início da manhã	início da tarde

URBANIZAÇÃO e INDUSTRIALIZAÇÃO

Poluentes atmosféricos:

O₃ (ozônio)

SO₂ (dióxido de enxofre)

CO (monóxido de carbono)

MP (material particulado)

NO_x (NO + NO₂, óxidos de nitrogênio)



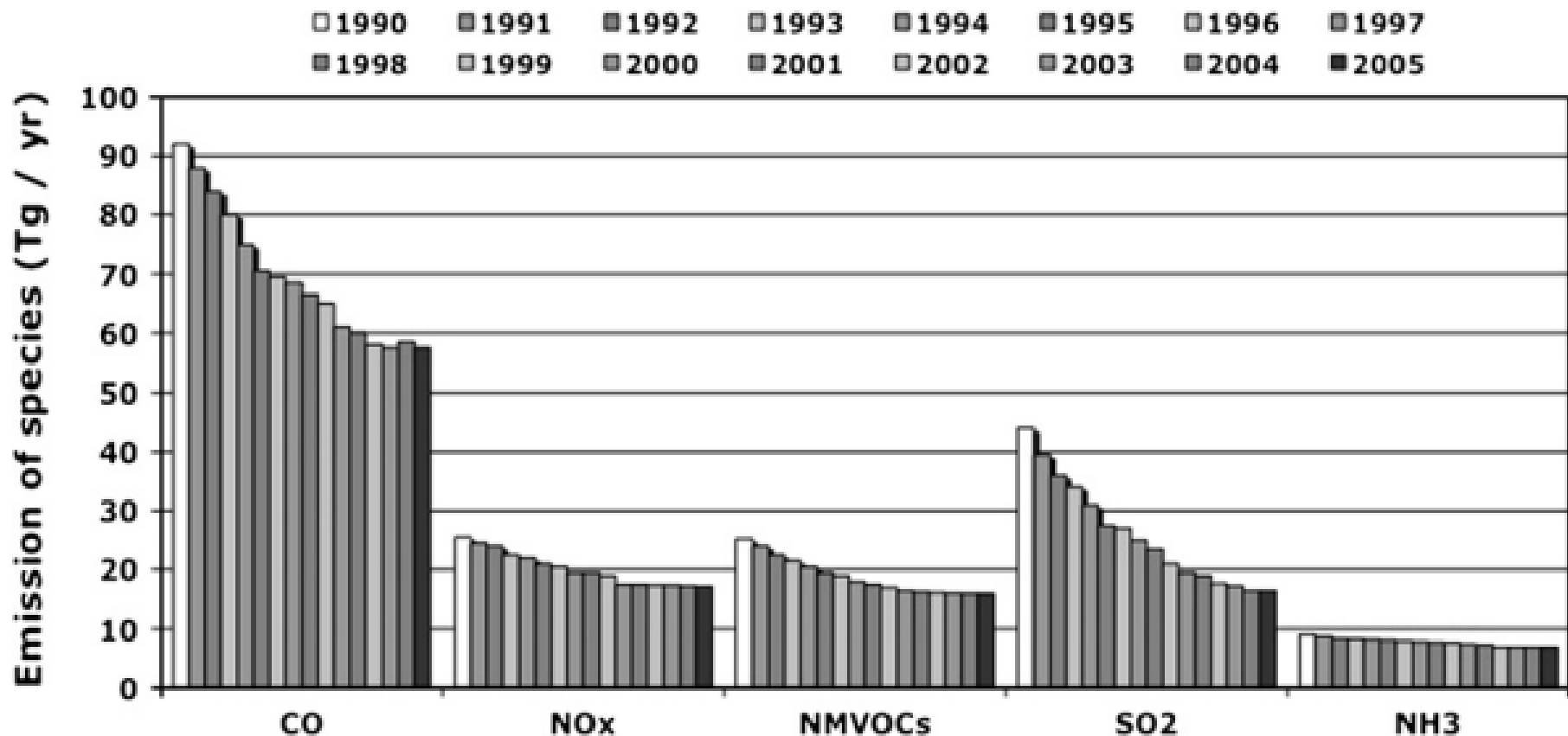
Alguns marcos na história da poluição do ar

- 1948 Air pollution episode in Donora, Pennsylvania kills 20 people and makes 40 percent of the town's 14,000 inhabitants ill.
- 1952 Sulfur and soot-laden smog covers London and is responsible for 4,000 deaths over a two-week period.
- 1955 Congress passes Air Pollution Control Act which identified air pollution as a national problem.
- 1963 Congress passes Clean Air Act of 1963 which set emissions standards for stationary sources such as power plants and steel mills. Amendments were passed in 1965, 1966, 1967, and 1969, authorizing the Secretary of Health, Education, and Welfare to set standards for motor vehicle emissions.
- 1970 Congress passes Clean Air Act of 1970, the first substantive environmental statute enacted by Congress. The law established National Ambient Air Quality Standards (NAAQS) and set new limits on emissions from stationary and mobile sources. Also allowed states to establish their own stricter standards, which California did.
- 1975 Catalytic converter introduced into vehicle fleet. Cuts hydrocarbon and carbon monoxide emissions by 96 percent and nitrogen oxides by 75 percent.
- 1977 Revised Clean Air Act Amendments passed by Congress, providing more time for areas with more serious air quality problems to comply with standards.
- 1988 EPA establishes Indoor Air Division of the Office of Air and Radiation to address indoor air quality issues.

Alguns marcos na história da poluição do ar

- 1990 Congress passes Clean Air Act of 1990, tightening automobile emissions standards, encouraging the use of low-sulfur fuels, and mandating installment of Best Available Control Technology.
 - 1997 EPA strengthens the standard for airborne particulate matter.
 - 2000 Tier 2 program, will be phased in starting in 2004, when refiners must produce low-sulfur fuel for passenger vehicles. Tier 2 also sets tailpipe emission standards for all classes of passenger vehicles, including sport utility vehicles and light-duty trucks.
 - 2001 Supreme Court supports health-based air pollution standards when it rejects challenges to the new standard for particulate matter.
 - 2001 The Heavy Duty Diesel Rule will require significant future reductions in highway diesel engine particulate matter emissions. It will also require diesel oil refiners to reduce most sulfur from diesel fuel by 2006 in preparation for new engines in 2007.
 - 2002 Legislation (AB 1493) passed in California that requires automakers to reduce greenhouse gases from motor vehicles.
 - 2002 California adopts more stringent particulate matter standards for PM₁₀ and PM_{2.5}.
-

Seinfeld, J.H., Air Pollution: A Half Century of Progress, AIChE Journal, 50(6), 1096-1108, 2004.



Tendências das emissões (Tg ano⁻¹) de poluentes atmosféricos na área do EMEP para o período 1990–2005, excluindo o transporte marítimo internacional.

1 Tg = 10¹² g = 10⁹ kg.

European Monitoring and Evaluation Programme = EMEP

Monks et al., Atmospheric composition change – global and regional air quality, *Atmospheric Environment*, 43, 5268–5350, 2009.

THE WHO AIR QUALITY GUIDELINES (AQGs) SET GOALS TO REDUCE AIR POLLUTION

They set out to achieve this by:

1

INTERIM TARGETS
HELP COUNTRIES TO
CONTINUOUSLY
IMPROVE AIR QUALITY

2

RECOMMENDING AQG
LEVELS TO PROTECT
PEOPLE FROM AIR
POLLUTION

CURRENT
LEVELS

INTERIM
TARGETS

RECOMMENDED
AQG LEVELS

CLEAN AIR FOR HEALTH

#AirPollution



Algumas conclusões:

- ❖ A atmosfera é indispensável a todos os seres vivos;
- ❖ Devem ser adotadas, urgentemente, medidas para minimizar a sua degradação;
- ❖ As normas de controle de emissão dos poluentes devem ser respeitadas;
- ❖ É importante agir hoje, para se obterem resultados amanhã!