

Poluição Atmosférica



PHA 3203 – ENGENHARIA CIVIL E O MEIO AMBIENTE

Prof. Dr. Theo Syrto Octavio de Souza
(theos@usp.br)

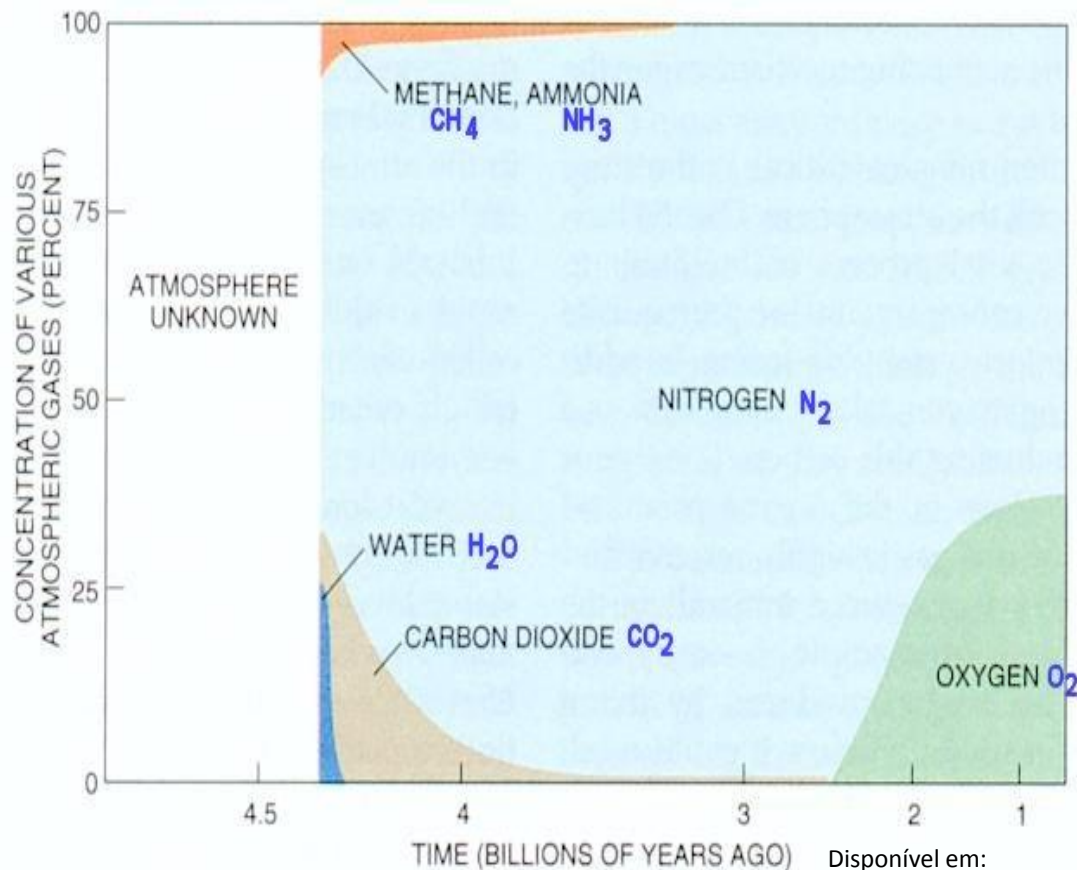
Atmosfera

Conceitos e características

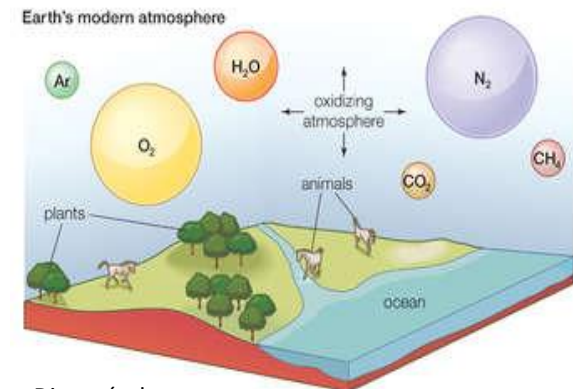
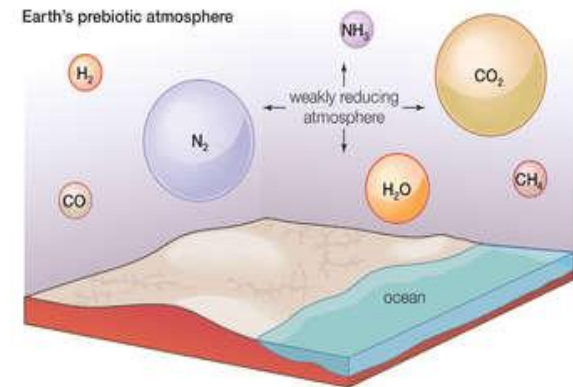


Formação da atmosfera

- Processo de formação através de fenômenos físico-químicos e biológicos



Disponível em:
<http://hendrix2.uoregon.edu/~imamura/121/images/earth-evolution-atmocompo.jpg>



Disponível em:
<https://s3.amazonaws.com/thumbnails.illustrationsource.com/huge.101.506992.JPG>

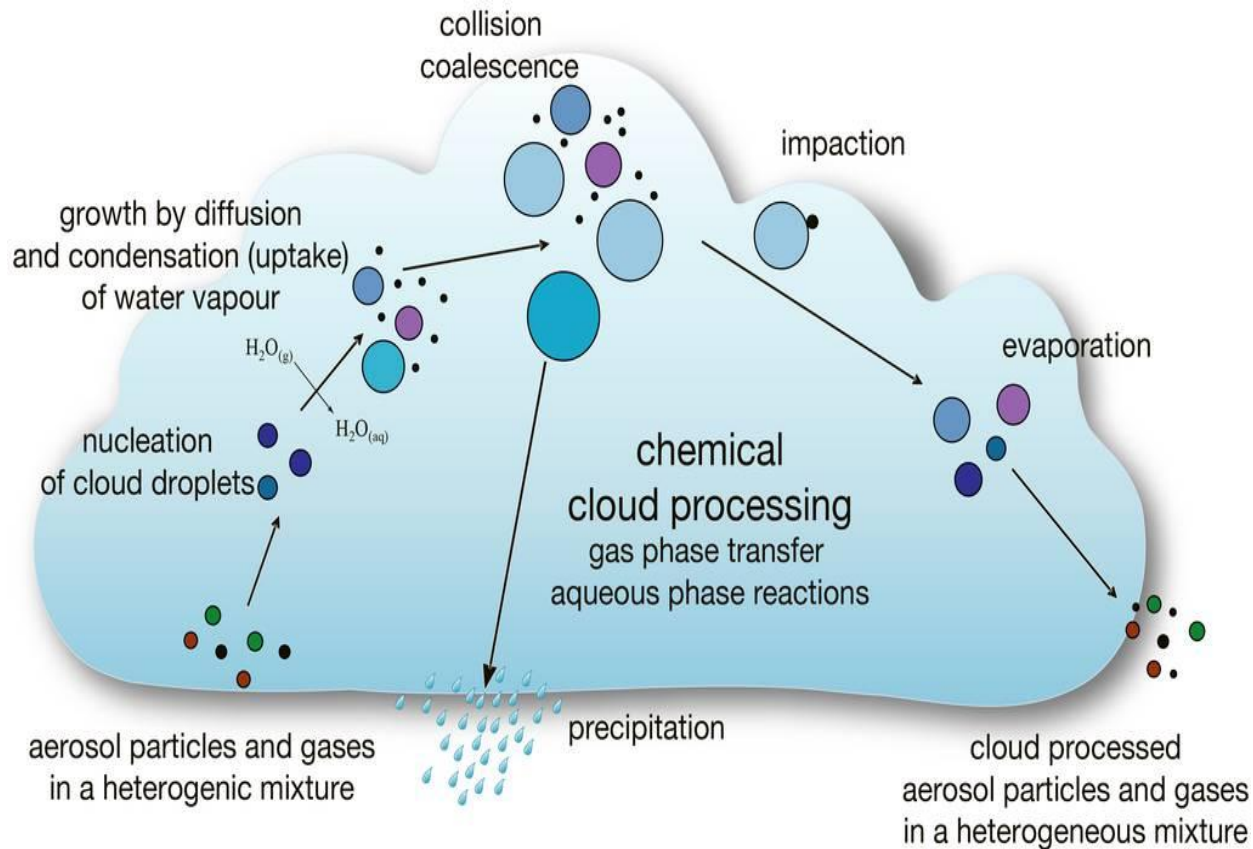
Composição da atmosfera

Gás	Composição (% v/v)	ppm (base volumétrica)
Nitrogênio	78,08	780.840,0
Oxigênio	20,95	209.500,0
Argônio	0,93	9.340,0
Dióxido de Carbono	0,03	340,0
Neônio	0,0018	18,0
Hélio	0,00052	5,2
Metano	0,00015	1,5
Criptônio	0,00010	1,0
Óxido Nitroso	0,00005	0,5
Hidrogênio	0,00005	0,5
Ozônio	0,000007	0,07
Xenônio	0,000009	0,09

Fonte: MORAN, J.M; MORGAN, M.D; WIERSMA, J.H. Introduction to environmental science, 1986

Composição da atmosfera

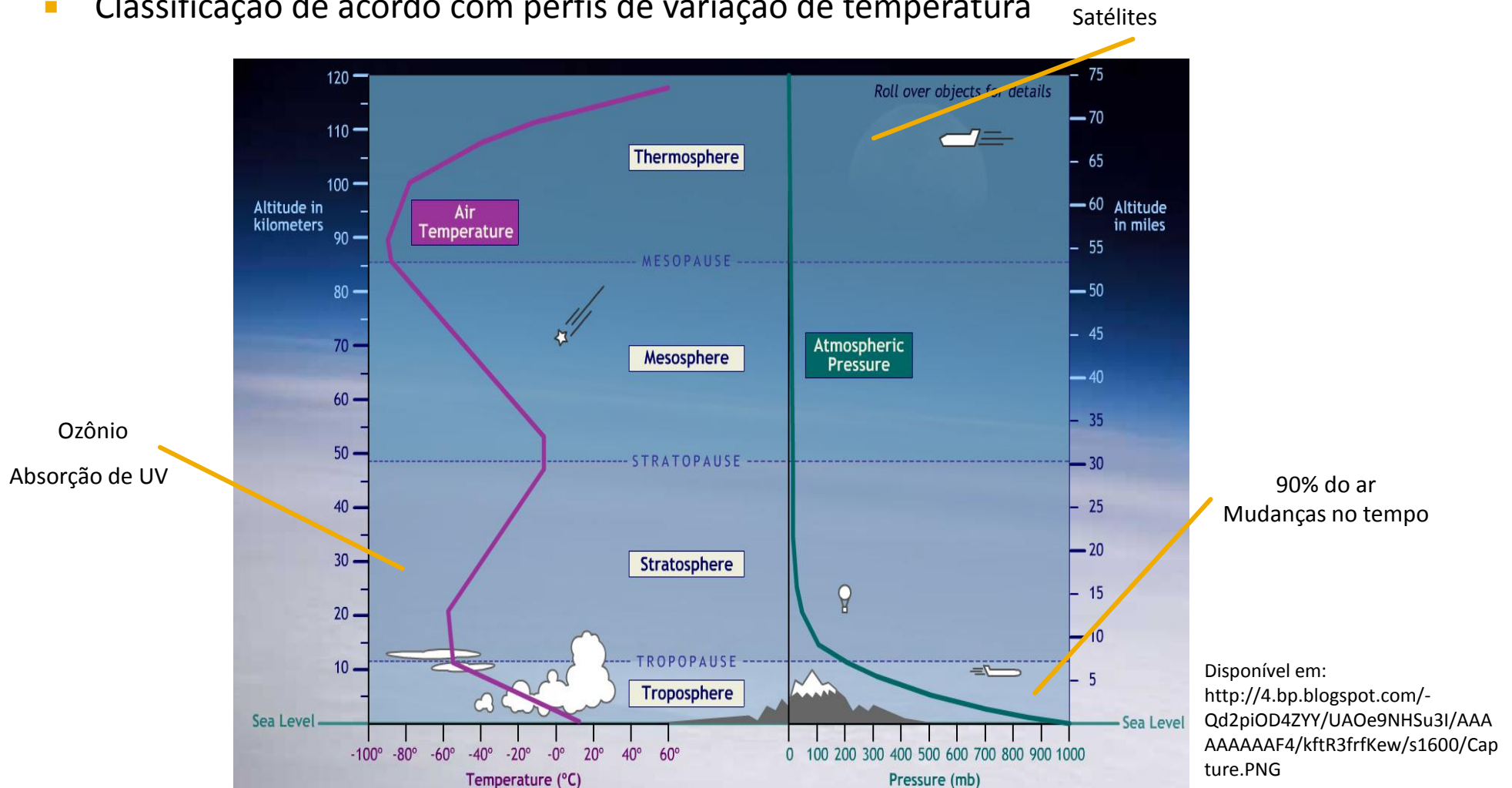
- Outros componentes importantes: vapor de água e partículas
- Partículas: aceleram formação de nuvens (coalescência)



Disponível em:
https://www.tropos.de/fileadmin/_processed_/csm_Forschung_T_N_M_SPACCIM_01_7b6f470a64.jpg

Estrutura da atmosfera

- Classificação de acordo com perfis de variação de temperatura



Poluição atmosférica

POLUENTES, POLUIÇÃO LOCAL E GLOBAL,
DISPERSÃO NA ATMOSFERA



Poluição do ar

- Existe poluição do ar quando ele contém uma ou mais substâncias químicas em concentrações suficientes para causar danos em seres humanos, em animais, em vegetais ou em materiais. Parâmetros físicos também incorrem em poluição: calor e som.



Lançados diretamente no ar
Ex: CO, NO_x, SO₂



São formados na atmosfera
Ex: SO₃ (SO₂ + O₂)

Poluentes do ar

Poluente	Origem
CO	Processos de combustão incompleta.
CO ₂	Queima de combustíveis fósseis e demais materiais que contenham carbono, além de ser gerado no processo de respiração.
SO _x	Queima de combustíveis que contenham enxofre em sua composição e processos biogênicos naturais.
NO _x	Processos de combustão em geral, descargas elétricas na atmosfera e processos biogênicos.
Hidrocarbonetos	Queima incompleta de combustíveis e evaporação de combustíveis e solventes orgânicos.
Oxidantes Fotoquímicos	Gerados a partir de poluentes lançados na atmosfera (NO _x , Hidrocarbonetos), que reagem entre si, na presença de radiação solar.
Material Particulado	Dispersão de poeira, fuligem, gotículas de óleo, e pólen.
Metais	Processos siderúrgicos, mineração e queima de carvão.

Poluentes do ar

Poluente	Origem
Asbestos	Mineração e processamento do amianto.
Ácido Fluorídrico (HF)	Produção de alumínio e fertilizantes, refinarias de petróleo, indústria de flúor gasoso e ácido fluorídrico.
Amônia	Fabricação de amônia e fertilizantes e processo biogênicos.
Gás Sulfídrico	Refinarias de petróleo, indústria de celulose e papel e processos biogênicos (anaeróbios).
Pesticidas e Herbicidas	Indústrias e aplicação no campo.
Substâncias Radioativas	Explosões nucleares, usinas nucleares, depósitos naturais e queima de carvão.
Calor	Processos de combustão, pela emissão de gases com temperatura elevada.
Ruído	Fontes diversas (Tráfego de veículos, indústrias, etc)

Efeitos Locais da Poluição

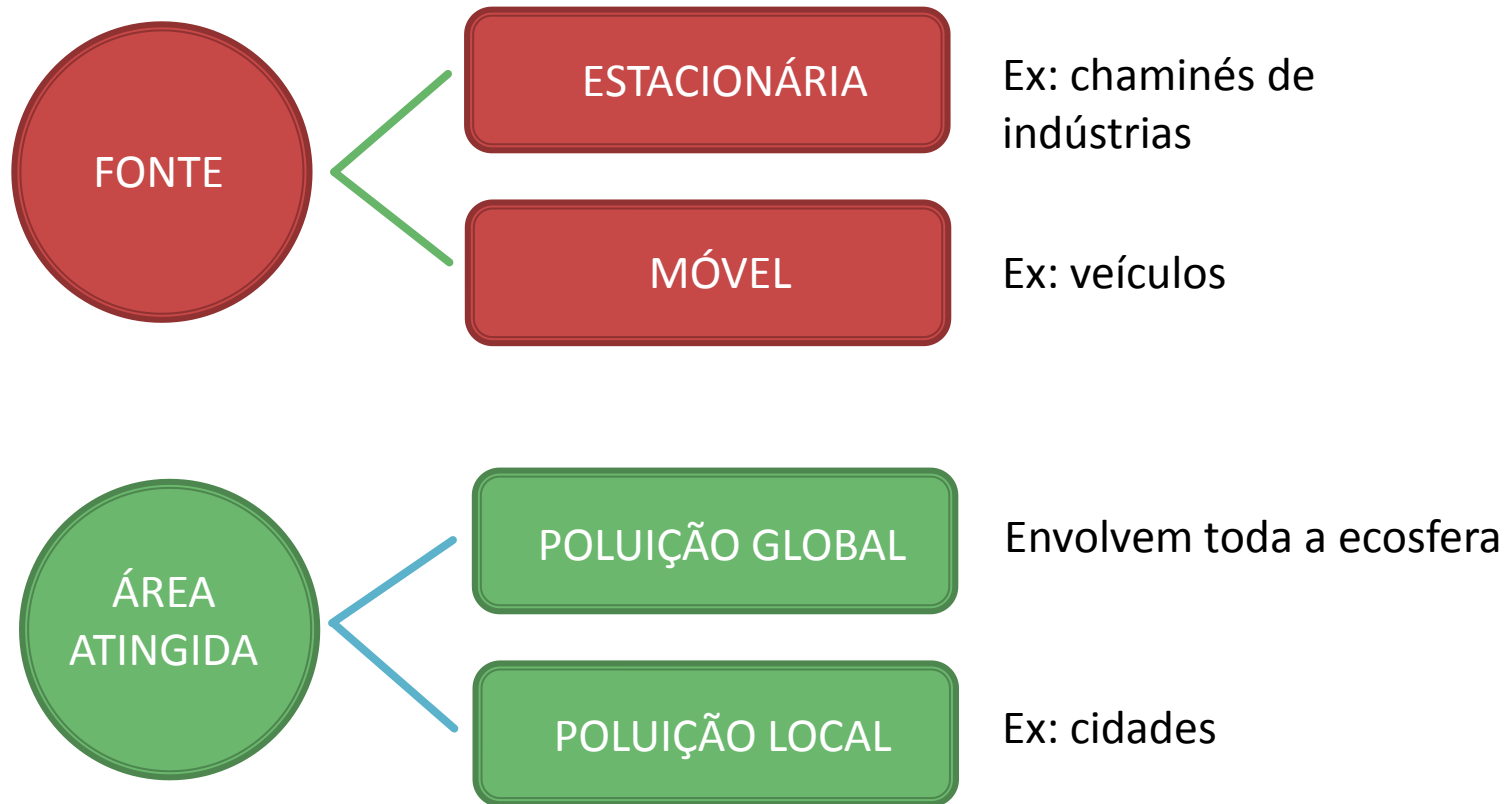
- Efeitos sobre o Homem:
 - Problemas de saúde, principalmente doenças respiratórias;
 - Plantas e animais dos quais ele depende são afetados.
- Efeitos sobre o meio ambiente:
 - Fauna → atinge os animais da mesma forma que atinge o Homem;
 - Flora → a absorção de poluentes pode resultar em desfolhamento e morte;
 - Materiais → problemas estruturais ou estéticos em edificações, monumentos culturais e automóveis;
 - Atmosfera → diminuição da visibilidade.

Efeitos dos Poluentes Atmosféricos sobre a Saúde Humana

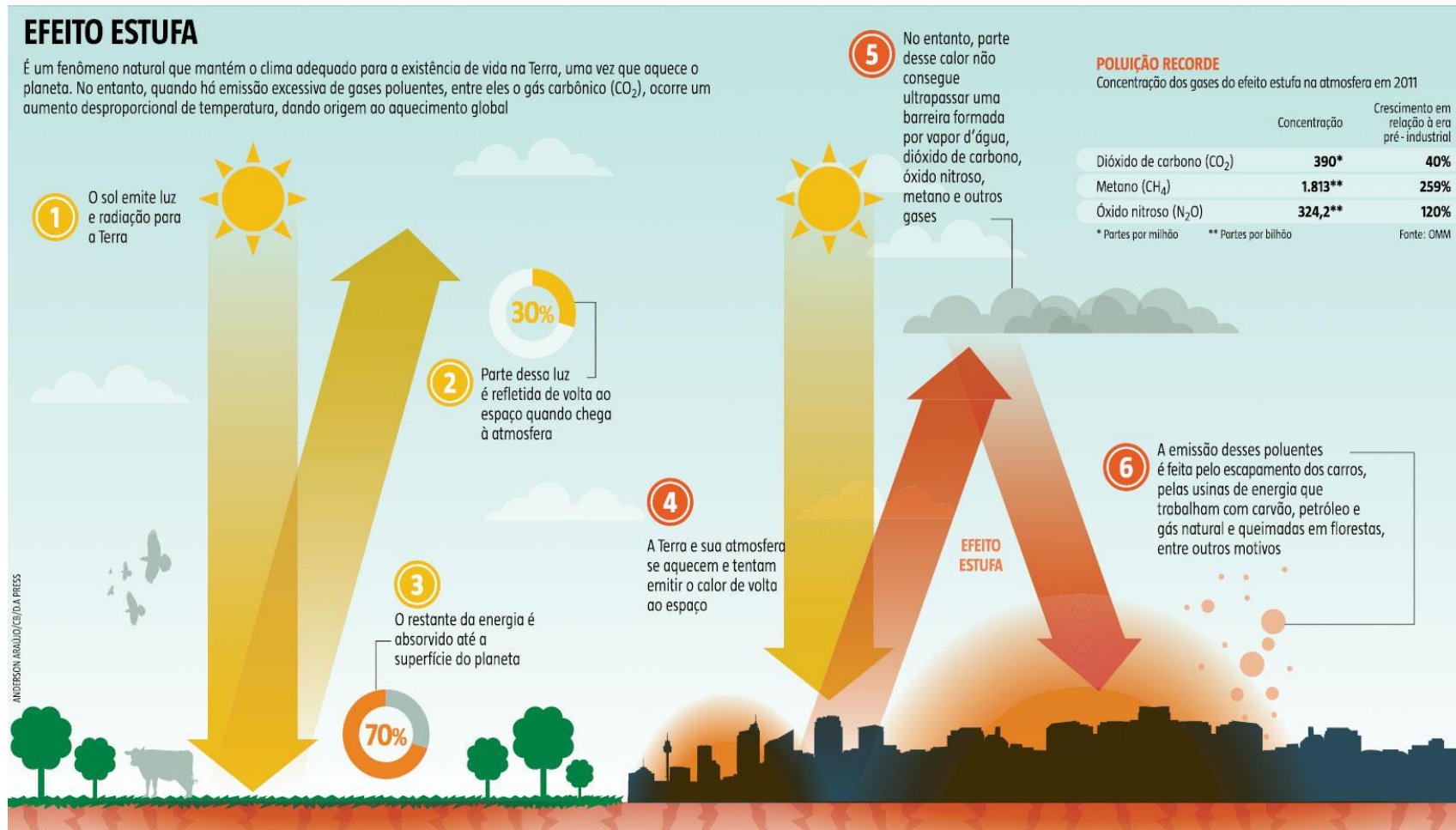
Poluente	Efeito da Exposição
CO	Dores de cabeça, náusea, fraqueza, tontura e alucinações, exposições prolongadas podem resultar em morte.
SO ₂	Irritação das mucosas dos olhos, nariz e garganta, coriza, tosse e brônquio constrição.
NO ₂	Irritação das mucosas dos olhos, nariz e garganta, dispnéia, edema pulmonar, diminuição da funções pulmonares, bronquite crônica, dores no peito e taquicardia.
O ₃	Irritação das mucosas dos olhos, nariz e garganta, edema pulmonar doenças crônicas do sistema respiratório.

Fonte: U.S. Department of Health and Human Services, Pocket guide to chemical hazards. NIOSH, 1994.

Poluentes do ar



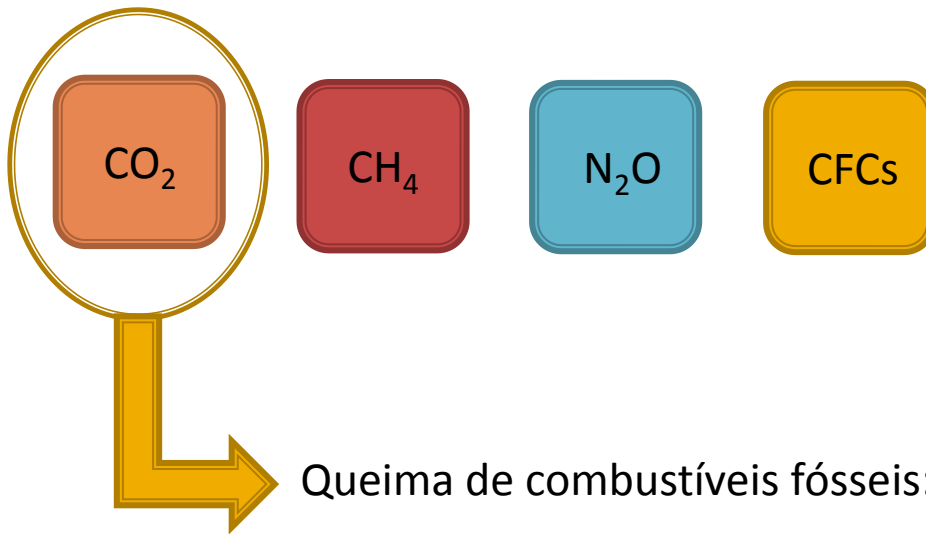
Poluição global



Poluição global

■ EFEITO ESTUFA

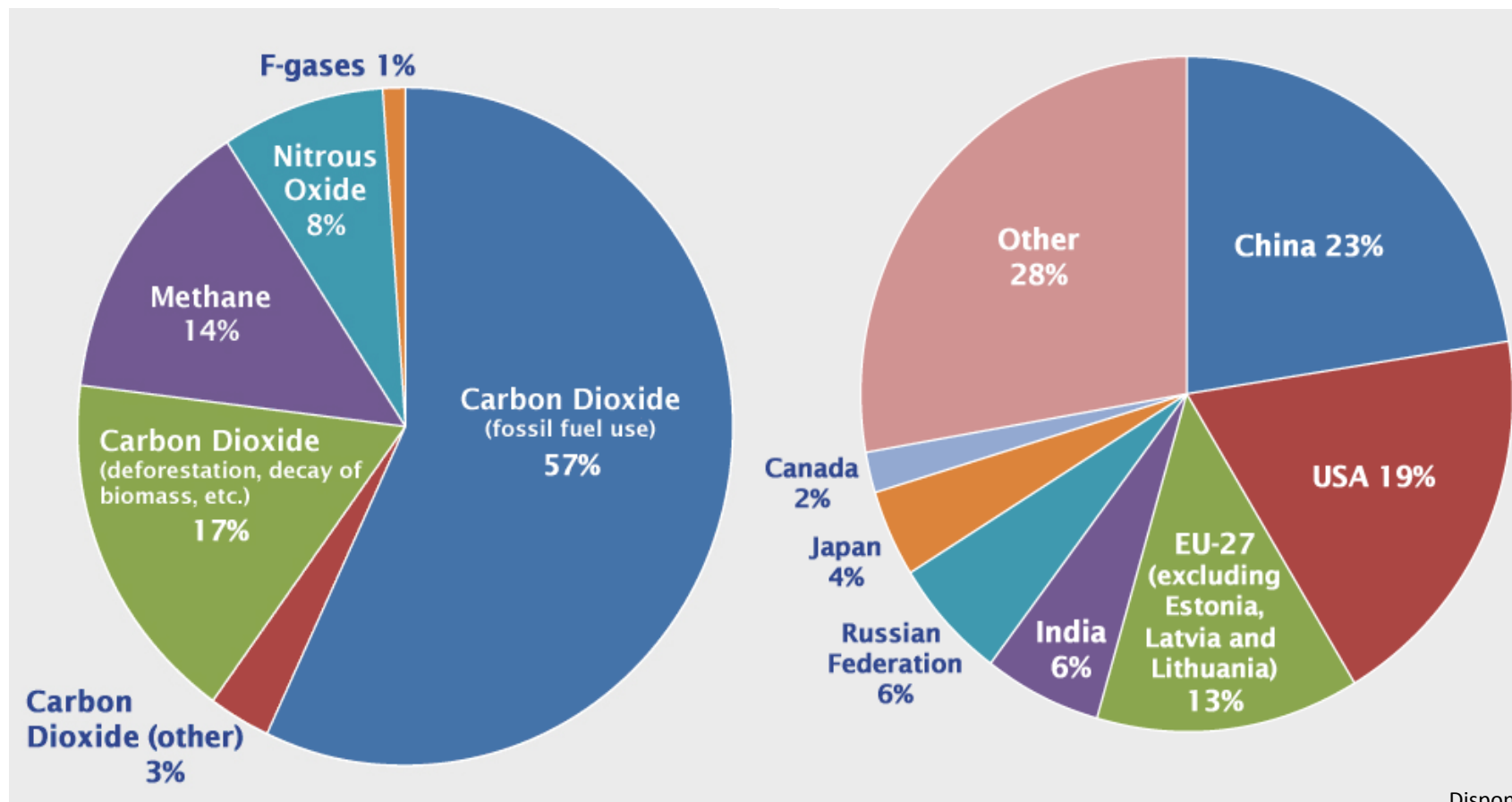
- Mantém a temperatura média do planeta em torno dos 15 °C
- Intensificação: gases estufa



Queima de combustíveis fósseis: maior responsável

Poluição global

■ EFEITO ESTUFA



Dados de 2004

Disponível em:
<http://www.epa.gov/climatechange/ghgemissions/global.html>

Implicações das Mudanças Climáticas

- Aumento da temperatura média do Planeta;
- Aumento na taxa de evaporação de água e aumento da precipitação;
- Diminuição da umidade do solo em várias regiões e aumento em outras;
- Aumento do nível dos oceanos;
- Alterações no equilíbrio dos ecossistemas.

Mercado de Carbono – Protocolo de Quioto

Protocolo de Quioto criou:

- Meta de emissões de GEE – países industrializados:
 - 5% < nível emitido 1990, no período 2008-2012
 - Medida para evitar mudanças no clima da Terra

- Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, onde:
 - Países industrializados:
 - Financiamento de projetos
 - Redução de emissão GEE
 - Promoção de sequestro GEE da atmosfera (ex: CO₂)
 - Abatimento na meta
 - Cumprimento metas com < custo

 - Países em desenvolvimento:
 - Fonte extra de investimentos para o desenvolvimento sustentável

(Pfaff *et al.*, 2000; Greene, 2001; Huang & Kronrad, 2001)

Mercado de Carbono – Protocolo de Quioto

Exemplo de funcionamento de MDL:

EMISSION EMPRESAS em 1990 = 100 tC



META em 2008-2012= 95 tC

Período de 2008-2012

INVESTIMENTOS via MDL

BALANÇO de EMISSÕES
tC emitido – tC compensado

Empresa

Emite 200 tC

Projeto de substituição
de uso de combustível
fóssil por energia solar

Redução de 100 tC

Projeto de recuperação
de mata nativa
(plantio de mudas)

Seqüestra 5 tC



200 tC – 105 tC = 95 tC



META
CUMPRIDA

País
industrializado

País
em Desenvolvimento

Poluição global

■ DESTRUIÇÃO DA CAMADA DE OZÔNIO

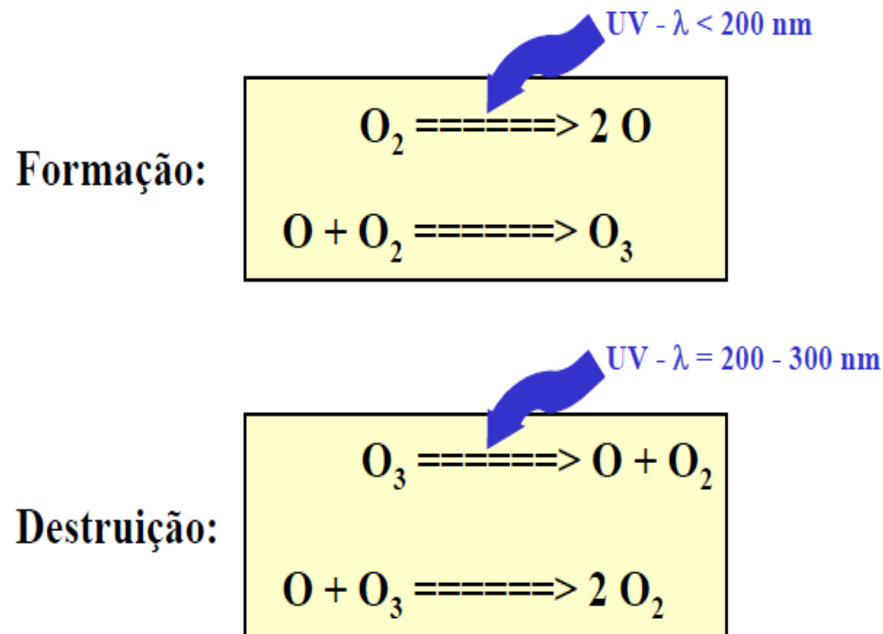
- Ozônio: estratosfera
- 15 a 30 km
- Reduz a intensidade da radiação UV que chega à superfície

Tipo de Radiação	Comprimento de Onda (nm)	Observações
UVA	320 – 400	Comprimento de onda muito próximo da luz visível, não é absorvida.
UVB	280 – 320	Apresenta vários efeitos prejudiciais, podendo causar danos ao DNA, que pode resultar em câncer aumento de índice de catarata e danos à materiais poliméricos. A camada de ozônio é efetiva para a sua atenuação.
UVC	~100 - 280	Extremamente prejudicial, mas é completamente absorvida pela camada de ozônio e pelo oxigênio da atmosfera.

Poluição global

- **DESTRUIÇÃO DA CAMADA DE OZÔNIO**

- Degradação catalítica por clorofluorcarbonos (CFCs)



Fonte: <http://science.nas.nasa.gov/Services/Educ...sources/TeacherWork/Ozone>

- Incidência de câncer de pele, catarata, danos a materiais e plantas.

Poluição global

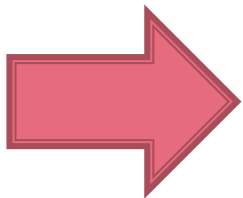
- **CHUVA ÁCIDA**

- Emissão de óxidos de nitrogênio e enxofre



Formação de ácido nítrico e ácido sulfúrico

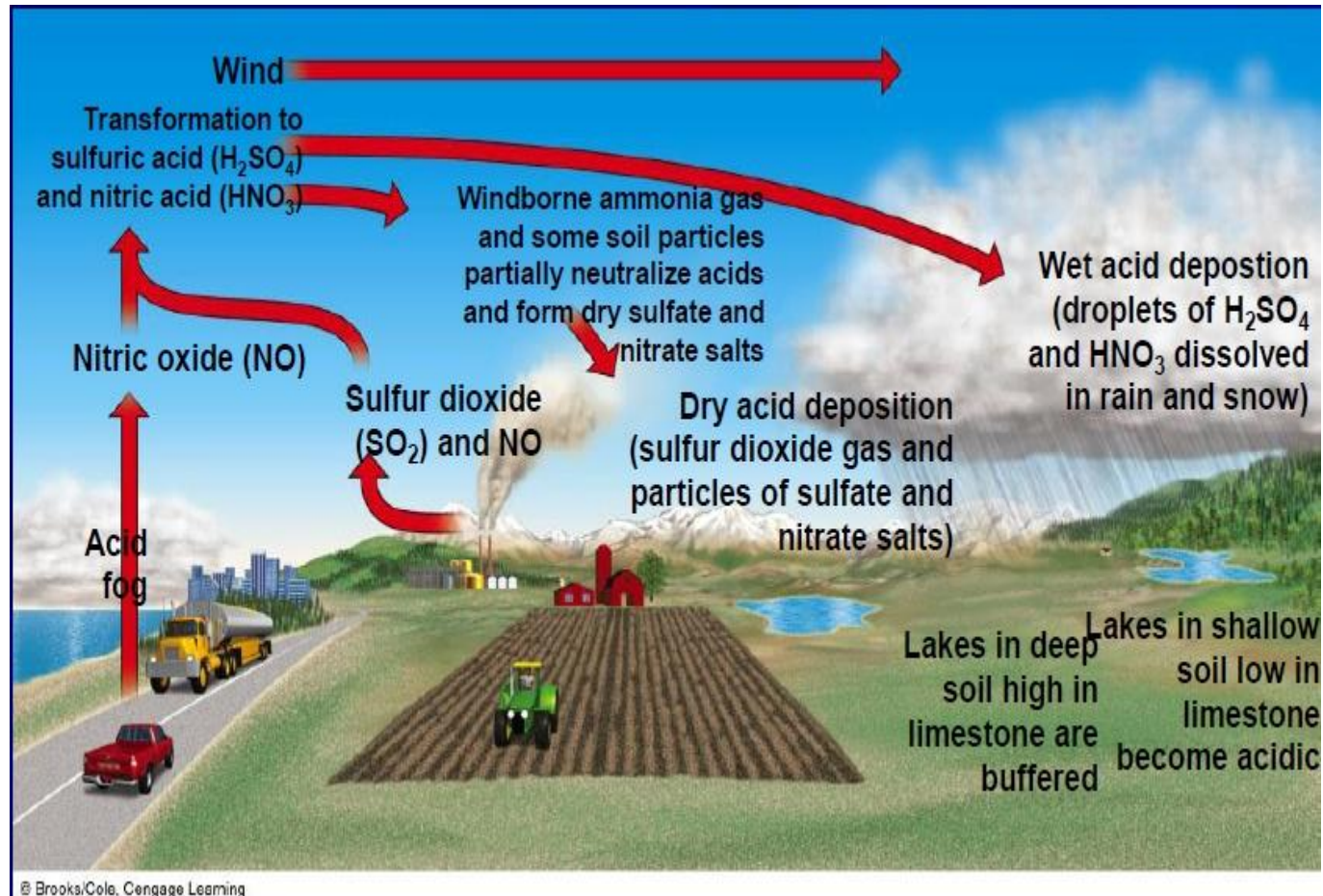
- Atingem águas superficiais
- Diminuem a produção primária
- Corrosão de estruturas e monumentos



Quais as consequências da chuva ácida para obras em andamento?

Poluição global

■ CHUVA ÁCIDA



Poluição local

- **SMOG**

- *Smoke + Fog*

SMOG INDUSTRIAL

Queima de carvão e de óleo combustível: dióxido de enxofre e material particulado

SMOG FOTOQUÍMICO

Principalmente proveniente de veículos: NO_x, CO e hidrocarbonetos. Sujeitos a reações na presença de radiação solar.

Poluição sonora

- Poluição por energia

SOM: resultado da vibração acústica capaz de produzir sensação auditiva

POLUIÇÃO SONORA: sons indesejáveis, ou em nível excessivo



Relativo

- Unidade de medida:
 - Decibel (dB): pressão sonora relativa a uma pressão de referência

$$dB = 10 * \log \frac{P^2}{P_0^2}$$

Poluição sonora

Fonte de Som	Intensidade (dB)	Percepção
Limite da audição	0	--X--
Movimento das folhas pela brisa	10	Muito quieto
Sussurrar	20	Muito quieto
Ruído em uma residência	45	Quietos
Tráfego leve (300 m)	55	Quietos
Conversação	65	Quietos
Avião a Jato (300 m)	100	Muito alto
Concentro de Rock	110	Muito alto
Trovão próximo	120	Desconfortavelmente alto
Decolagem de um avião a jato (100 m)	125	Desconfortavelmente alto
Limiar da dor	140	--X--

Poluição sonora

- Saúde humana:

- Perda de audição
- Sistema nervoso
- Dificuldade de aprendizagem
- Irritabilidade
- Aumento em número de acidentes
- Etc.

- Mitigação:

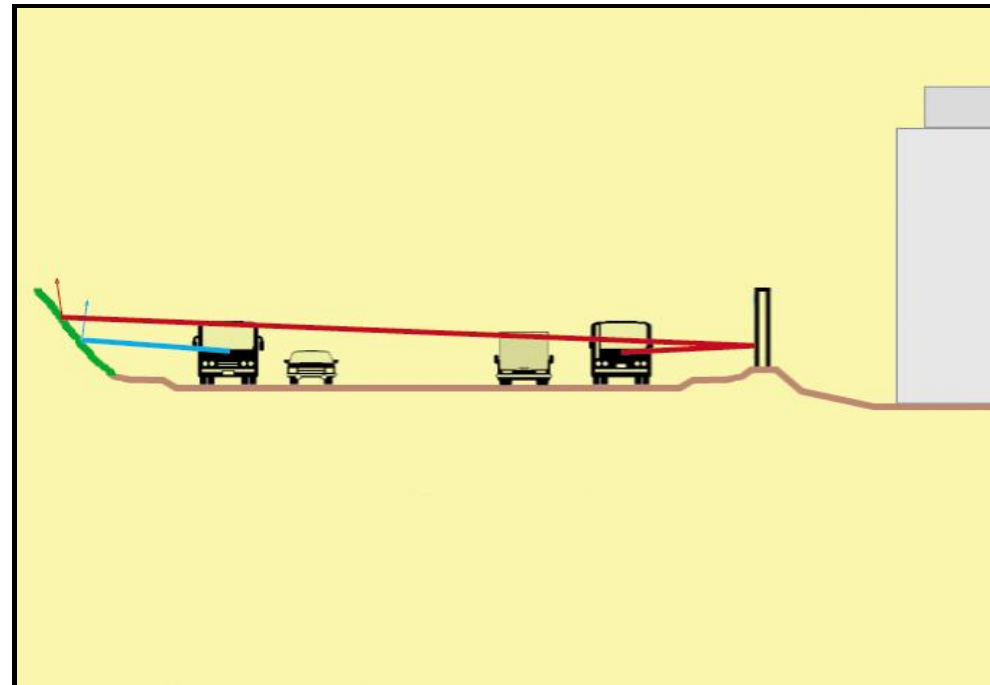
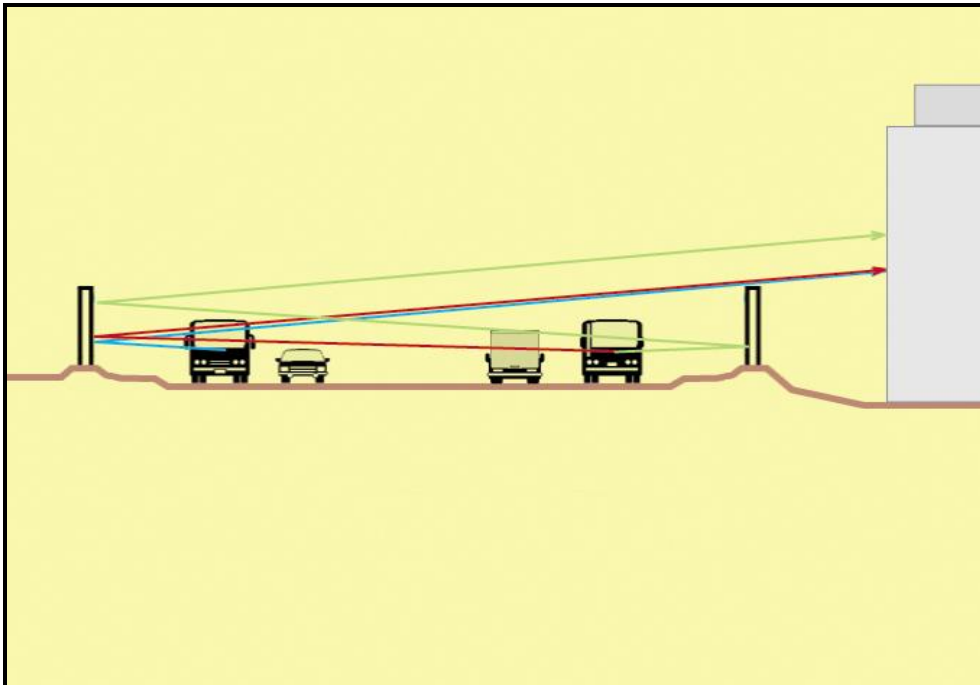
- Projeto de ambientes adequados
- Isolamento da fonte de vibração ou do receptor
- Utilização de equipamentos de proteção individual (EPIs)
- Limitar a exposição ao ruído

Poluição sonora

➤ Barreiras acústicas em rodovias

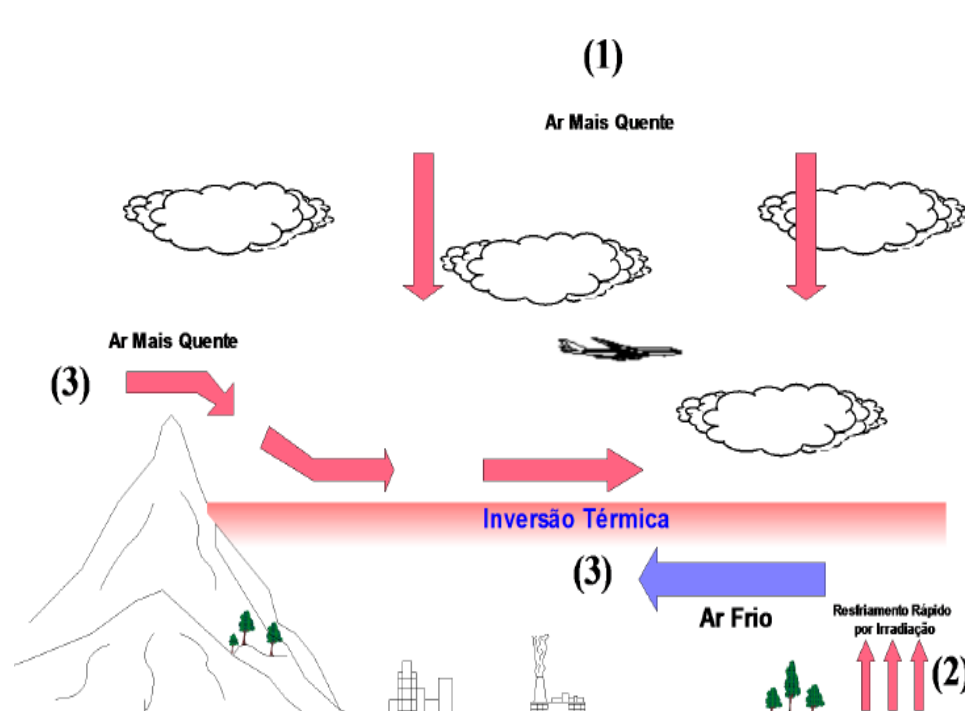
Ex.: modelos matemáticos para:

- estudo sobre projeções de tráfego na duplicação de uma rodovia,
- efeito sobre os níveis de ruídos para previsão da necessidade de barreiras acústicas



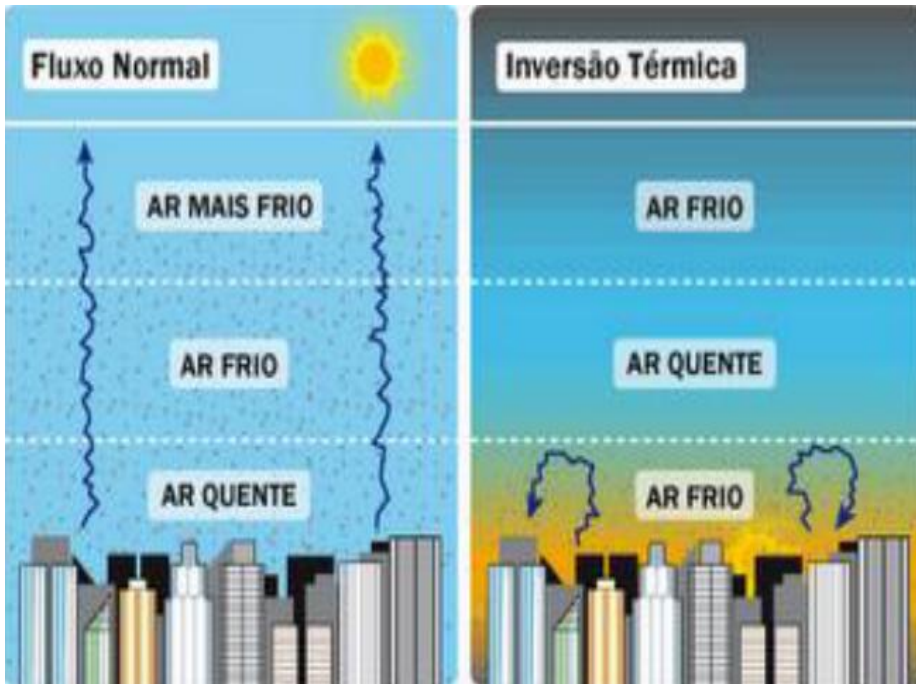
Dispersão de poluentes no ar

- **INVERSÃO TÉRMICA**: fenômeno natural que afeta a dispersão de poluentes
- Causas:
 - Subsistência das camadas de ar mais quente
 - Resfriamento rápido da superfície
 - Fluxos de massas de ar próximos às encostas

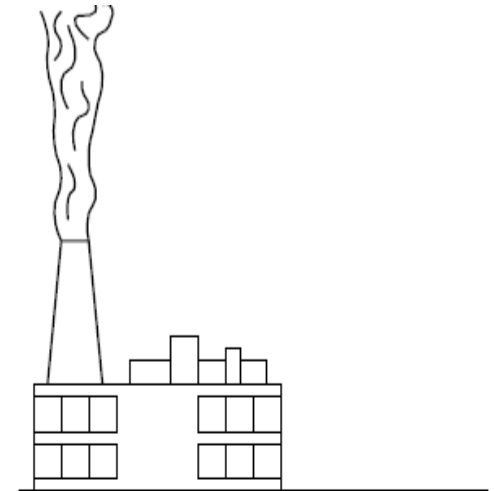
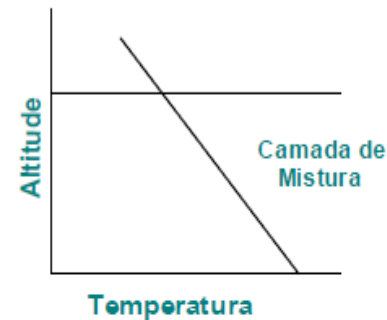


Dispersão de poluentes no ar

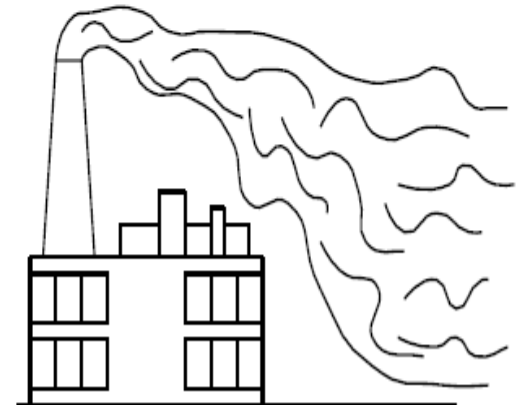
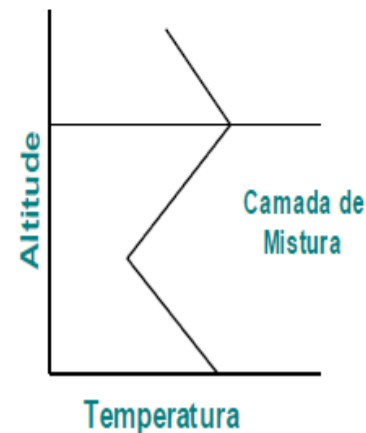
- INVERSÃO TÉRMICA:



Sem Inversão

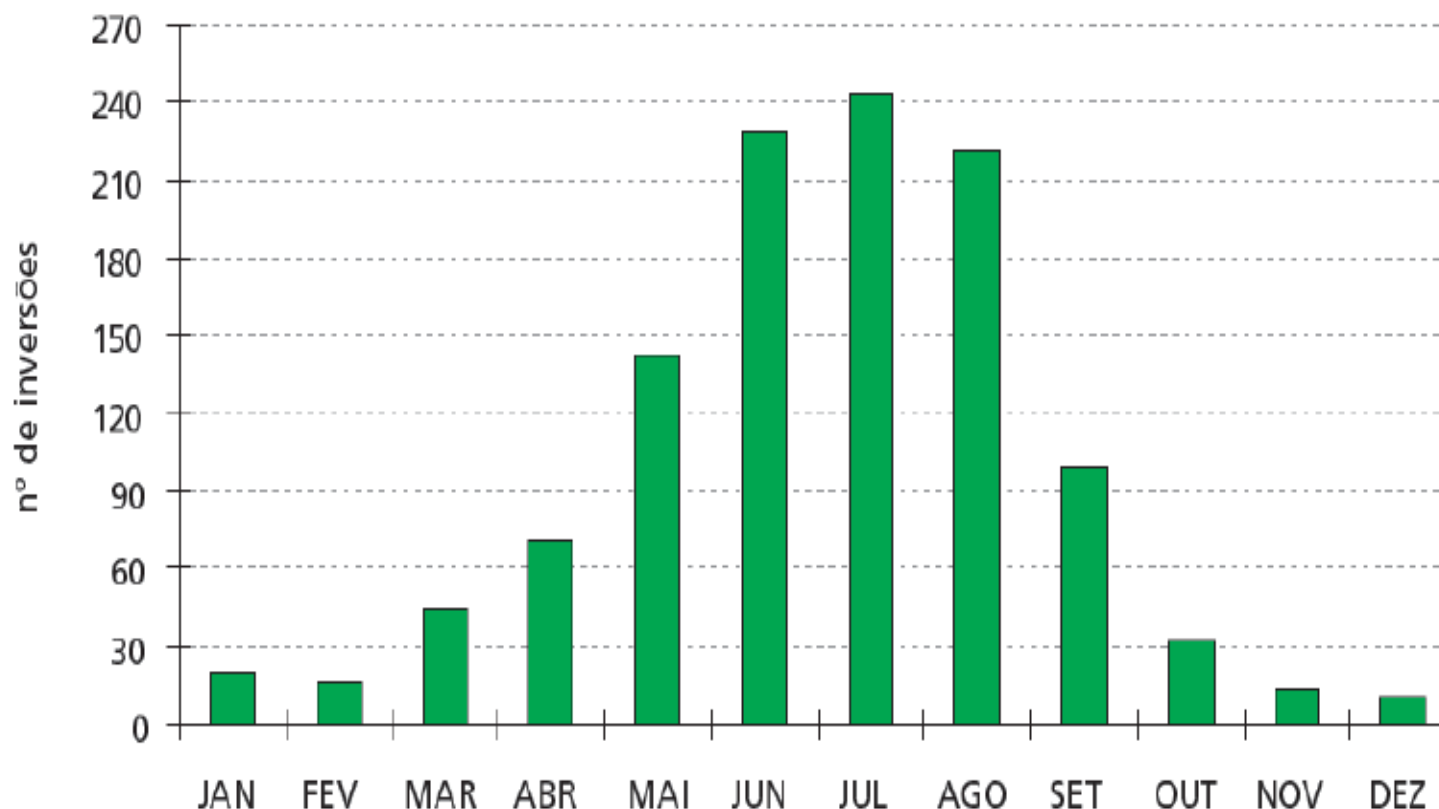


Com Inversão



Dispersão de poluentes no ar

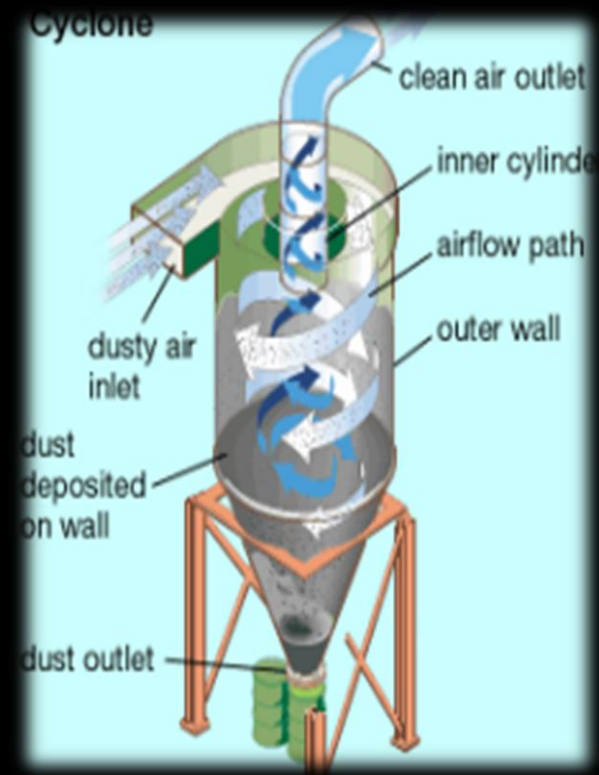
- INVERSÃO TÉRMICA:



Número de inversões térmicas, abaixo de 200 m, na RMSP de 1985 a 2007)

Padrões e Controle

Padrões de qualidade do ar, equipamento
de controle da poluição



Padrões de qualidade do ar

- Riscos potenciais associados aos poluentes atmosféricos;
- Problemas de poluição do ar nos grandes pólos industriais e áreas urbanas;
- Necessidade de mecanismos para proteção dos seres humanos;
- Estabelecimento de normas para o controle da poluição.

- **NORMAS**
 - Visam disciplinar a emissão de poluentes para a atmosfera;
 - As primeiras iniciativas tiveram como meta o controle da poluição causada pelas indústrias;
 - As normas foram aprimoradas e passaram a considerar a poluição causada por veículos automotores.
 - Normas brasileiras de controle de poluição do ar seguem as americanas;
 - Nestas normas são estabelecidos padrões de qualidade para o ar visando:
 - Proteger os grupos mais sensíveis;
 - Garantir o bem estar da população em geral e a qualidade do meio ambiente.

Normas de controle da poluição do ar

■ Federal:

- Resolução CONAMA n° 18, 06/05/1986: Institui o Programa de Controle de Poluição por Veículos Automotores – PROCONVE.
- Resolução CONAMA n° 03, 28/06/1990: Estabelece os Padrões de Qualidade do Ar.
- Resolução CONAMA n° 08, 06/12/1990: Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes do ar para processos de combustão externa em fontes novas fixas.

■ Estadual:

- Lei n° 997, de 31/05/1976, regulamentada pelo decreto n° 8.468, que dispõe sobre o Controle da Poluição do Meio Ambiente.
 - Título III – Da Poluição do Ar.

Normas de controle da poluição do ar

- Pela Resolução CONAMA n° 03 são estabelecidos padrões primários e secundários de qualidade do ar;
 - Padrões Primários – referem-se às concentrações de poluentes que, ultrapassados, poderão afetar a saúde da população.
 - Padrões Secundários – são as concentrações de poluentes abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem estar da população, fauna, flora, materiais e meio ambiente em geral.

Padrões de qualidade do ar

Padrões nacionais de qualidade do ar (Resolução CONAMA nº 03 de 28/06/90)				
Poluente	Tempo de Amostragem	Padrão Primário $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Padrão Secundário $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Método de Medição
partículas totais em suspensão	24 horas ¹	240	150	amostrador de grandes volumes
	MGA ²	80	60	
partículas inaláveis	24 horas ¹	150	150	separação inercial/filtração
	MAA ³	50	50	
fumaça	24 horas ¹	150	100	refletância
	MAA ³	60	40	
dióxido de enxofre	24 horas ¹	365	100	pararosanilina
	MAA ³	80	40	
dióxido de nitrogênio	1 hora ¹	320	190	quimiluminescência
	MAA ³	100	100	
monóxido de carbono	1 hora ¹	40.000	40.000	infravermelho não dispersivo
		35 ppm	35 ppm	
	8 horas ¹	10.000	10.000	
		9 ppm	9 ppm	
ozônio	1 hora ¹	160	160	quimiluminescência

1 - Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano. 2 - Média geométrica anual. 3 - Média aritmética anual.

Prof. Mierzwa

Padrões de qualidade do ar

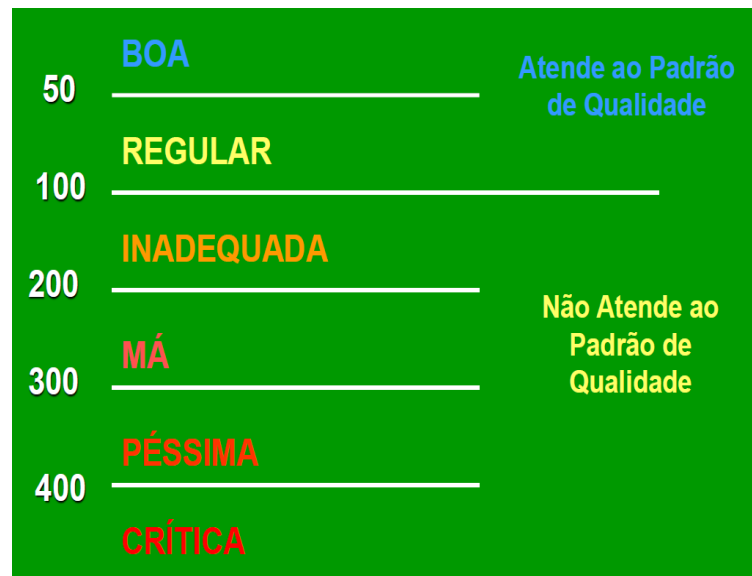
Critérios para episódios agudos de poluição do ar (Resolução CONAMA nº 03 de 28/06/90)			
Parâmetros	Atenção	Alerta	Emergência
partículas totais em suspensão ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24h	375	625	875
partículas inaláveis ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24h	250	420	500
fumaça ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24h	250	420	500
dióxido de enxofre ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24h	800	1.600	2.100
SO ₂ X PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24h	65.000	261.000	393.000
dióxido de nitrogênio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 1h	1.130	2.260	3.000
monóxido de carbono (ppm) - 8h	15	30	40
ozônio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 1h	400*	800	1.000

Prof. Mierzwa

* O nível de atenção é declarado pela CETESB com base na Legislação Estadual que é mais restritiva (200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Índice de Qualidade do Ar

- ▶ Utilizado para relacionar as condições de qualidade do ar com os possíveis efeitos sobre a saúde humana e medidas de controle;
- ▶ Baseado no indicador americano (Pollutant Standard Index – PSI);
- ▶ Relaciona a concentração do poluente na atmosfera e o seu padrão primário de qualidade.



Índice de Qualidade do Ar

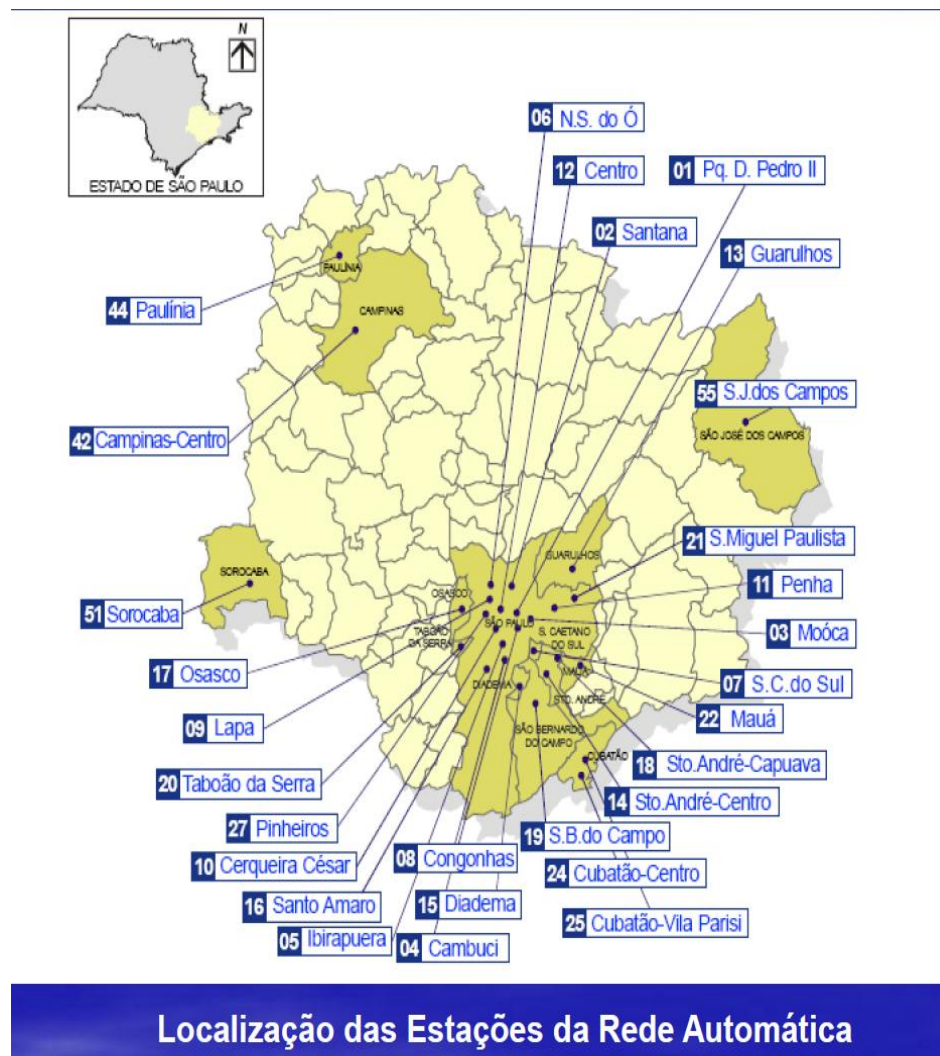
Qualidade	Índice	MP ₁₀ (µg/m³)	O ₃ (µg/m³)	CO (ppm)	NO ₂ (µg/m³)	SO ₂ (µg/m³)
Boa	0 - 50	0 - 50	0 - 80	0 - 4,5	0 - 100	0 - 80
Regular	51 - 100	50 - 150	80 - 160	4,5 - 9	100 - 320	80 - 365
Inadequada	101 - 199	150 - 250	160 - 200	9 - 15	320 - 1130	365 - 800
Má	200 - 299	250 - 420	200 - 800	15 - 30	1130 - 2260	800 - 1600
Péssima	>299	>420	>800	>30	>2260	>1600

Material Particulado (MP)
Material Particulado (MP), Partículas Totais em Suspensão(PTS),
Partículas Inaláveis (MP₁₀) e Fumaça (FMC).

Índice de Qualidade do Ar

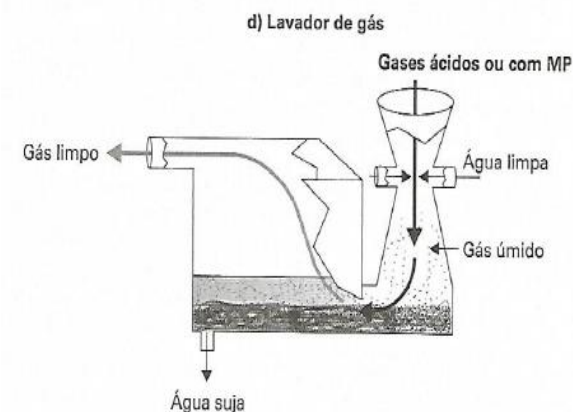
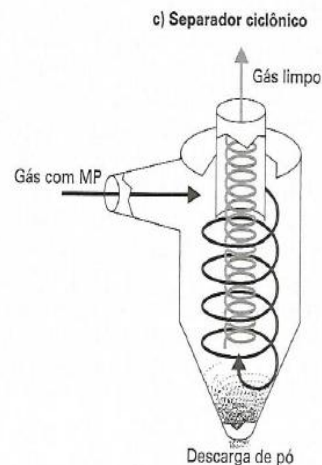
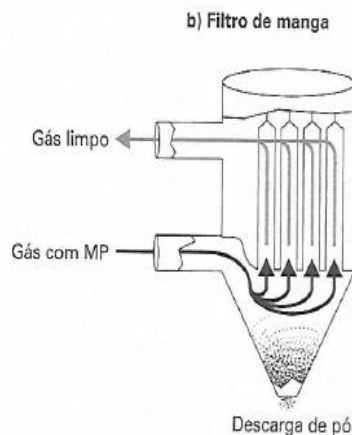
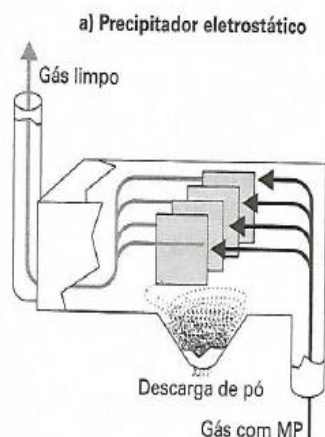
Qualidade	Índice	Significado
Boa	0 - 50	Praticamente não há riscos à saúde.
Regular	51 - 100	Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas), podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço. A população, em geral, não é afetada.
Inadequada	101 - 199	Toda a população pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta. Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas), podem apresentar efeitos mais sérios na saúde.
Má	200 - 299	Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca , cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta e ainda apresentar falta de ar e respiração ofegante. Efeitos ainda mais graves à saúde de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas).
Péssima	>299	Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares . Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis.

Índice de Qualidade do Ar



Controle da poluição do ar

■ MATERIAL PARTICULADO:



■ POLUENTES DO SMOG INDUSTRIAL

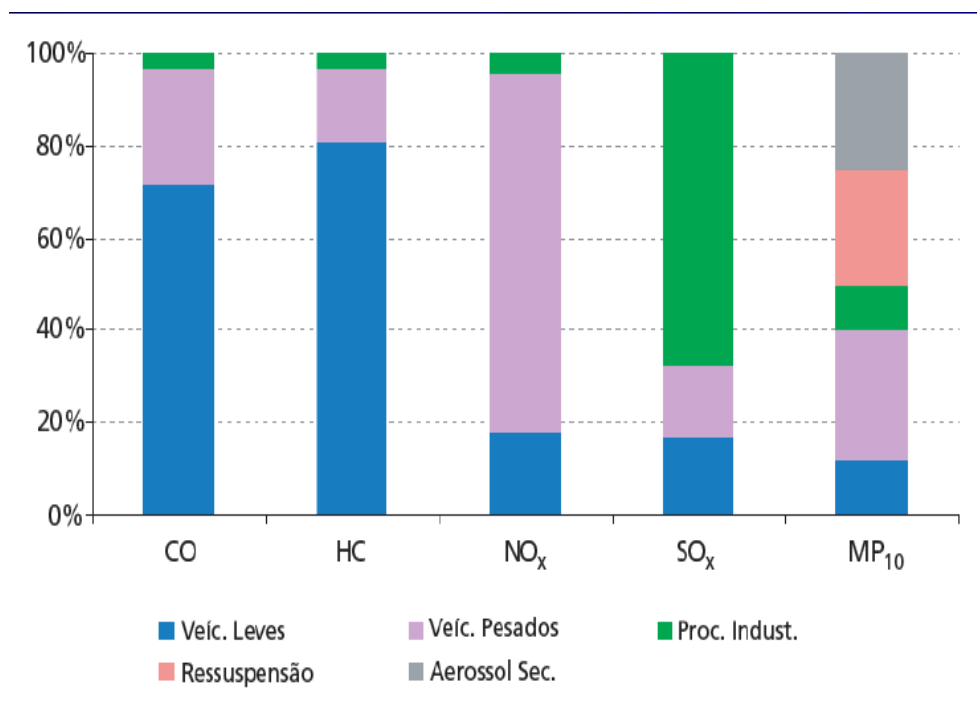
- Substituição de combustíveis fósseis, redução do enxofre em combustíveis

■ POLUENTES DO SMOG FOTOQUÍMICO

- Ações que atuem na diminuição do uso de veículos individuais

Região Metropolitana de SP

- 20 milhões de habitantes
- 9 milhões de veículos
- Atividade industrial intensa, queima de resíduos, movimentação e estocagem de combustíveis



Emissões Relativas por Fontes de Poluentes (CETESB, 2008)

Região Metropolitana de SP

■ OPERAÇÃO RODÍZIO

- Meses de inverno (maio a setembro)
- 1995 a 1998
- Função de controle da poluição do ar
- Abolida a partir de 1999: o rodízio atual é relacionado ao controle do tráfego em uma região limitada

■ OPERAÇÃO INVERNO

- Desde 1976
- 1º de maio a 31 de agosto
- Indústrias e veículos
- Ações cobradas pela CETESB para controle da poluição em diversas fontes