

# Poluição Atmosférica



**PHA 3203 – ENGENHARIA CIVIL E O MEIO AMBIENTE  
2019**

# Atmosfera

Conceitos e características



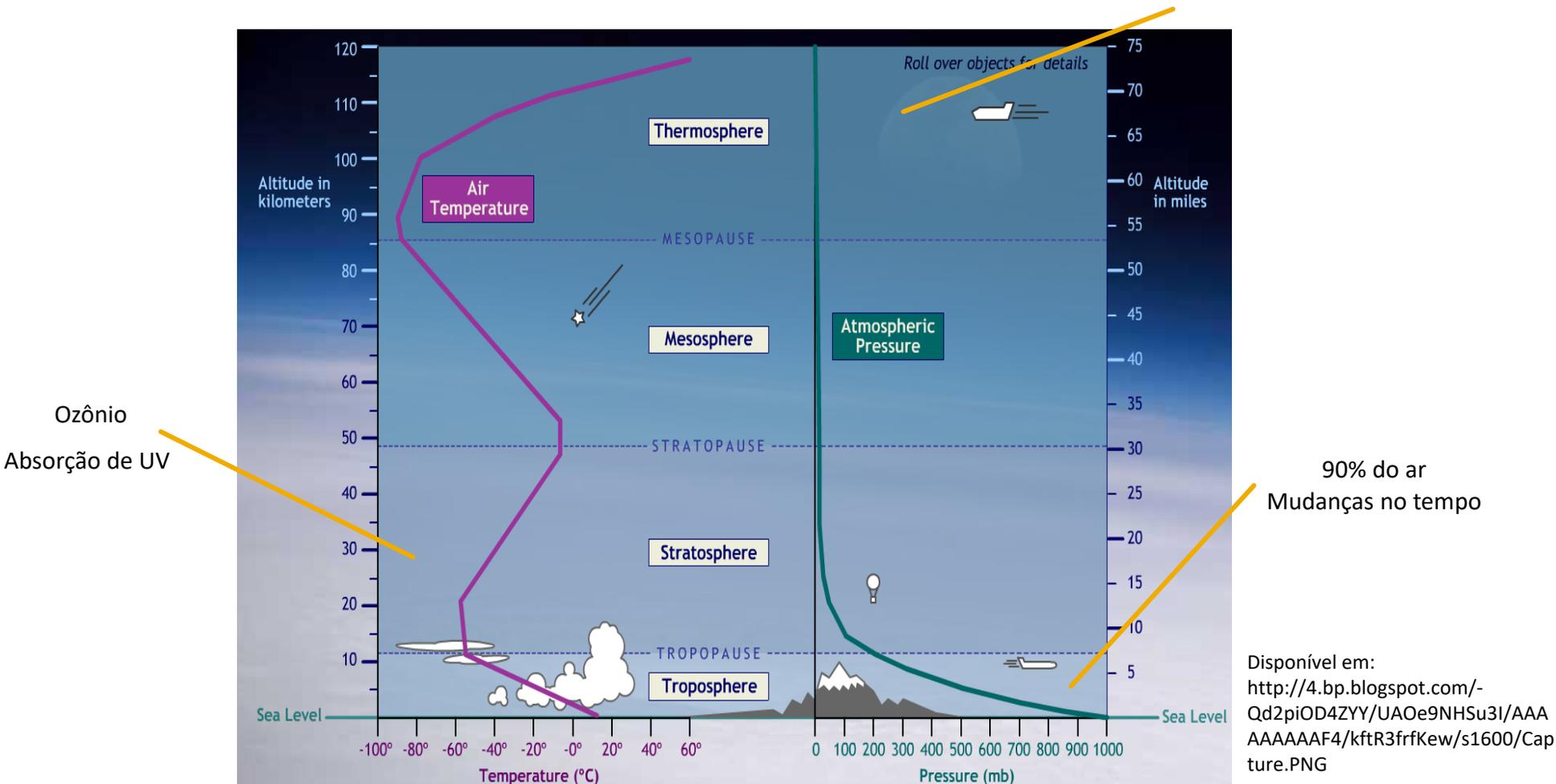
# A Atmosfera

Composição Química da Atmosfera

Gás	Símbolo	Porcentagem por Volume (%)
Nitrogênio	N <sub>2</sub>	78.08
Oxigênio	O <sub>2</sub>	20.95
Argônio	Ar	0.93
Vapor d'água	H <sub>2</sub> O	0 a 4
Dióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>	0.039
Metano	CH <sub>4</sub>	0.00018
Óxido Nitroso	N <sub>2</sub> O	0.00003
Ozônio	O <sub>3</sub>	0 a 7 x 10 <sup>-6</sup>
Clorofluorcarbonos	CFCs	2 x 10 <sup>-9</sup> a 5 x 10 <sup>-8</sup>

# Estrutura da atmosfera

- Classificação de acordo com perfis de variação de temperatura



# Poluição do Ar



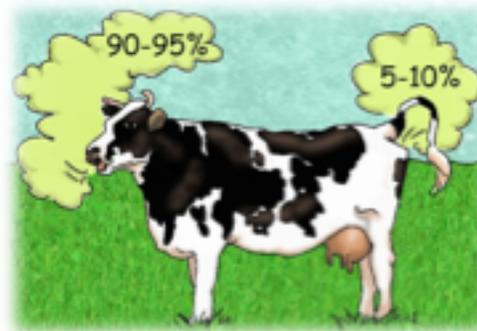
Fontes Fixas



Fontes Móveis



Fontes Naturais



# O que são poluentes atmosféricos?

- Poluentes atmosféricos são gases e partículas sólidas resultantes das **atividades humanas** que são dispersos no ar atmosférico com potencial de causar alteração na saúde e bem estar de seres vivos.
- Desta forma, classificam-se nessa categoria, os gases e partículas expelidos por veículos e indústrias e outras atividades humanas.
- Os gases e partículas oriundos de fenômenos naturais a degradação da matéria orgânica, vulcanismos e outros fenômenos naturais – muitas vezes são erroneamente classificados como poluentes, mas pertencem aos ciclos naturais do planeta e, portanto, não são considerados poluição, o que não significa que não possam afetar negativamente o homem e que não tenhamos que intervir nessas condições.

# 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<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>



São formados na atmosfera  
Ex: SO<sub>3</sub> (SO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub>)

Ruído e calor também são considerados poluentes.

# Poluentes do ar

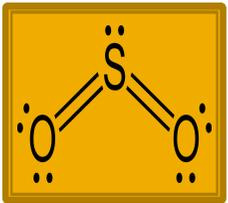
Poluente	Origem
CO	Processos de combustão incompleta.
CO <sub>2</sub>	Queima de combustíveis fósseis e demais materiais que contenham carbono, além de ser gerado no processo de respiração.
SOx	Queima de combustíveis que contenham enxofre em sua composição e processos biogênicos naturais.
NOx	Processos 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 (NOx, 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.

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)

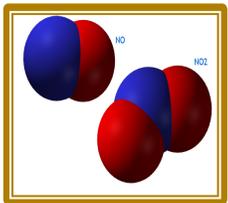
# Efeitos Locais da Poluição

- 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.

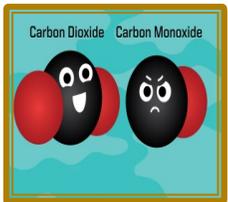
# Poluentes Críticos



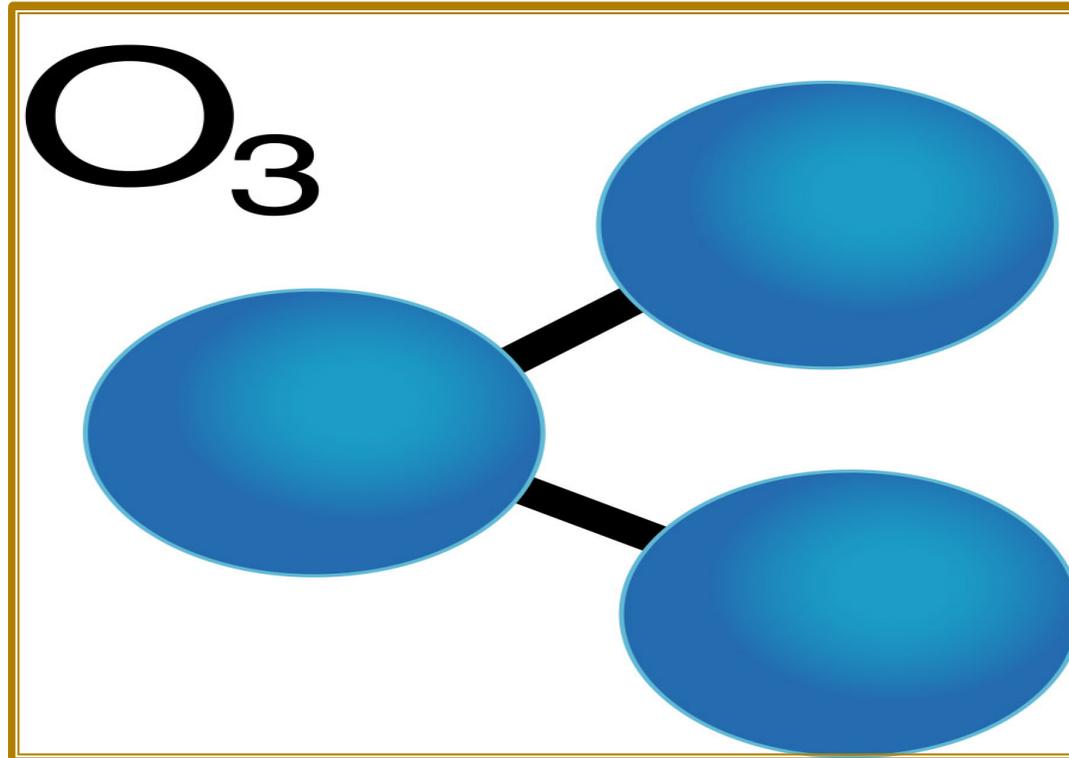
Gases de Enxofre



Gases de Nitrogênio



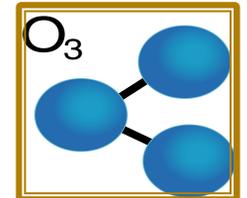
Óxidos de Carbono



Material Particulado 10



Material Particulado 2,5



Ozônio

# Poluentes Críticos

## Gases de enxofre

O Enxofre está presente **como impureza de combustíveis fósseis, principalmente diesel e carvão.**

## Gases de nitrogênio

O NO<sub>2</sub> é usado como o indicador para o grupo maior de óxidos de nitrogênio e tem origem **em emissões veiculares e usinas termoeletricas.**

No meio ambiente, também pode causar **chuva ácida**

## Óxidos de carbono

O CO é um gás incolor e inodoro que pode ser letal quando inalado em grandes quantidades. **O CO é liberado em processos de combustão incompleta de materiais contendo carbono.** As maiores fontes de CO são **veículos. Itens domésticos**, como aquecedores a gás, chaminés, fogões a gás e churrasqueiras também liberam CO e podem afetar a qualidade do ar dentro de casa.

**MP define partículas, como poeira, sujeira, fuligem ou fumaça, que são grandes ou escuras o suficiente para serem vistas a olho nu.**

Outros são tão pequenos que só podem ser detectados usando um microscópio eletrônico. São classificados em 2 tamanhos

**MP 10:** partículas inaláveis, com diâmetros de até 10 micrômetros ( $\mu\text{m}$ )

**MP 2,5:** partículas inaláveis finas, com diâmetros menores que 2,5  $\mu\text{m}$ .

**O ozônio ocorre tanto na estratosfera (bom) como na troposfera (ruim).**

O ozônio troposférico não é emitido diretamente, mas é criado por reações químicas entre óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e compostos orgânicos voláteis (COV). Isso acontece quando **os poluentes emitidos por carros, usinas termelétricas, caldeiras industriais, refinarias ou indústrias químicas** reagem quimicamente na presença da luz solar.

# 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 <sub>2</sub>	Irritação das mucosas dos olhos, nariz e garganta, coriza, tosse e brônquio constrição.
NO <sub>2</sub>	Irritação das mucosas dos olhos, nariz e garganta, dispnéia, edema pulmonar, diminuição da funções pulmonares, bronquite crônica, dores no peito e taquicardia.
O <sub>3</sub>	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.

# Índice de Qualidade do Ar

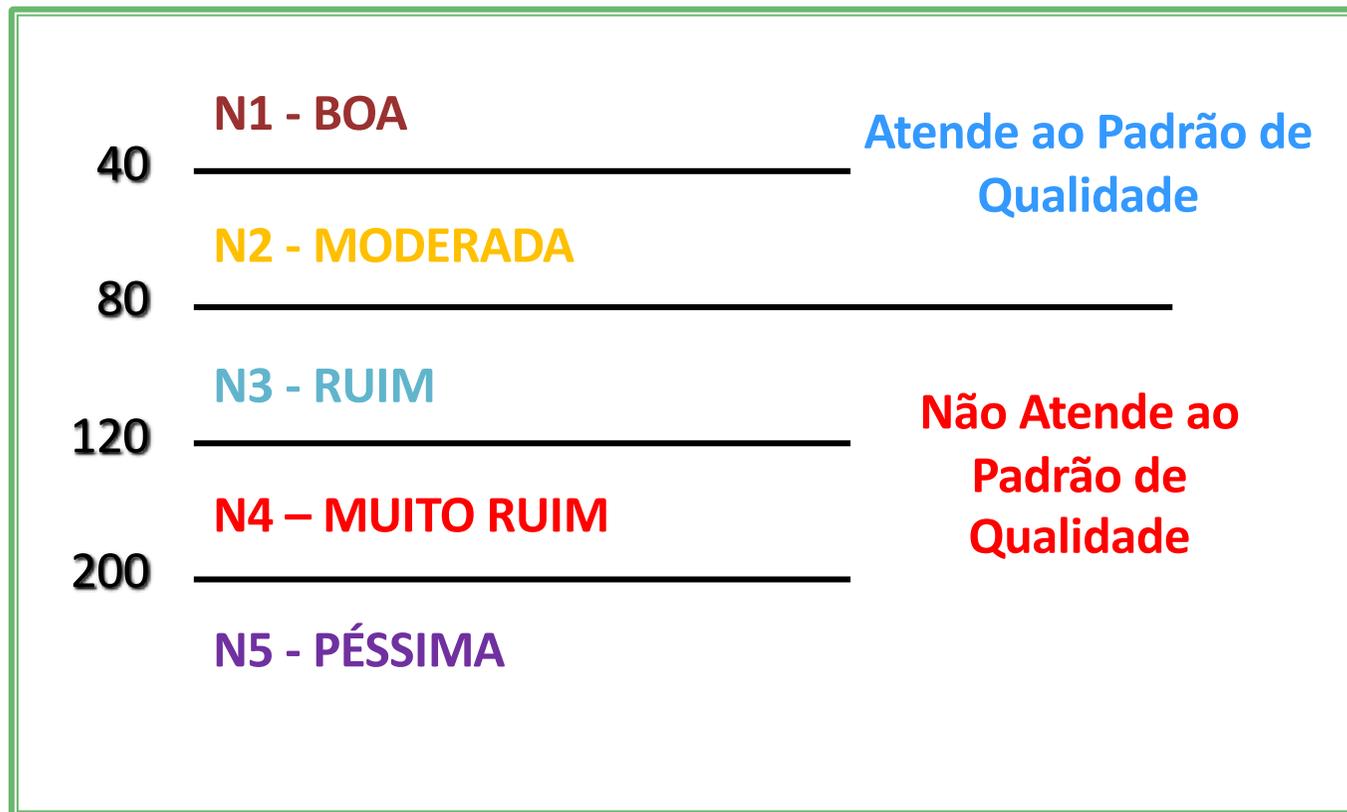
- Utilizado para relacionar as condições de qualidade do ar com os possíveis efeitos sobre a saúde humana e medidas de controle;
- Baseado no indicador americano (Pollutant Standard Index – PSI);
- **Relaciona a concentração do poluente na atmosfera e o seu padrão primário de qualidade.**



# Padrões de qualidade do ar

- Riscos potenciais associados aos poluentes atmosféricos;
- Problemas de poluição do ar nos grandes polos 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.

# Índice de Qualidade do Ar

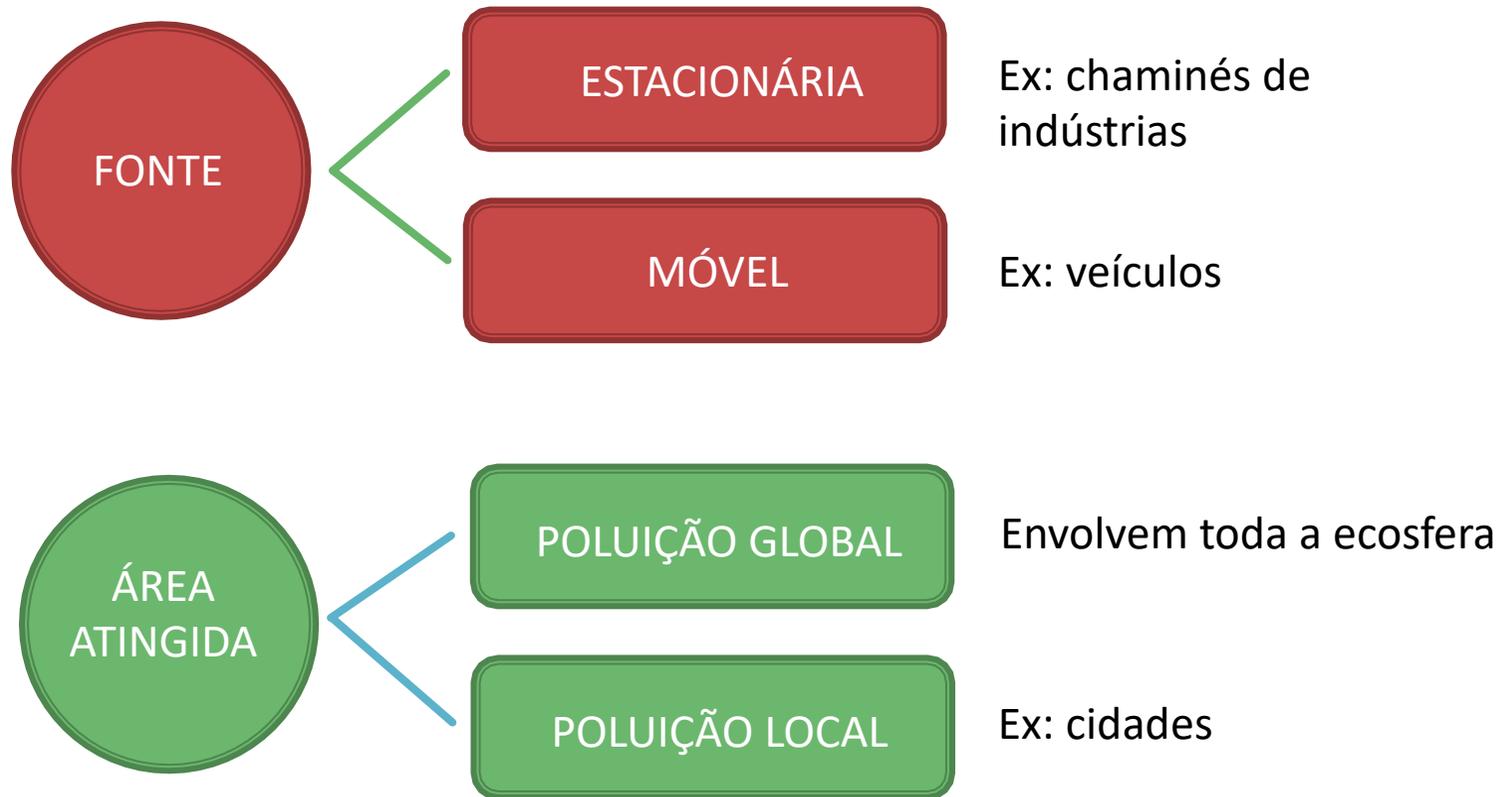


## Tabela do Índice de Qualidade do Ar da CETESB

Qualidade	Índice	MP <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) 24h	MP <sub>2,5</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) 24h	O <sub>3</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) 8h	CO (ppm) 8h	NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) 1h	SO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) 24h
N1 - Boa	0 - 40	0 - 50	0 - 25	0 - 100	0 - 9	0 - 200	0 - 20
N2 - Moderada	41 - 80	>50 - 100	>25 - 50	>100 - 130	>9 - 11	>200 - 240	>20 - 40
N3- Ruim	81 - 120	>100 - 150	>50 - 75	>130 - 160	>11 - 13	>240 - 320	>40 - 365
N4- Muito Ruim	121 - 200	>150 - 250	>75 - 125	>160 - 200	>13 - 15	>320 - 1130	>365 - 800
N5- Péssima	>200	>250	>125	>200	>15	>1130	>800

Qualidade	Significado	Qualidade	Significado
N1 - Boa			
N2 - Moderada	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.	N4 - Muito Ruim	Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta e ainda falta de ar e respiração ofegante. Efeitos ainda mais graves à saúde de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas).
N3- Ruim	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.	N5 - Péssima	Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis.

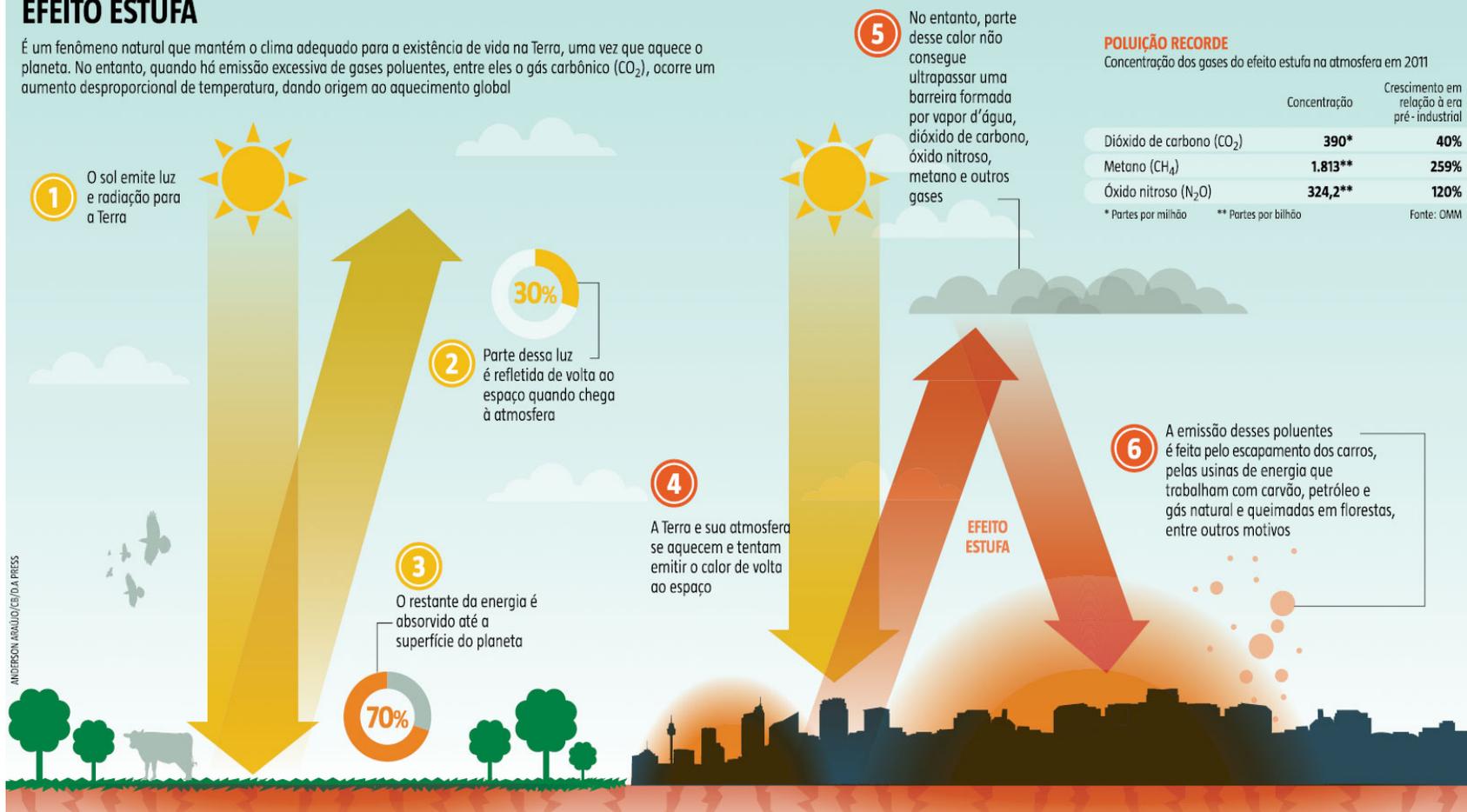
# Poluentes do ar



# Poluição global

## EFEITO ESTUFA

É um fenômeno natural que mantém o clima adequado para a existência de vida na Terra, uma vez que aquece o planeta. No entanto, quando há emissão excessiva de gases poluentes, entre eles o gás carbônico (CO<sub>2</sub>), ocorre um aumento desproporcional de temperatura, dando origem ao aquecimento global



### POLUIÇÃO RECORDE

Concentração dos gases do efeito estufa na atmosfera em 2011

	Concentração	Crescimento em relação à era pré-industrial
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	390*	40%
Metano (CH <sub>4</sub> )	1.813**	259%
Óxido nítrico (N <sub>2</sub> O)	324,2**	120%

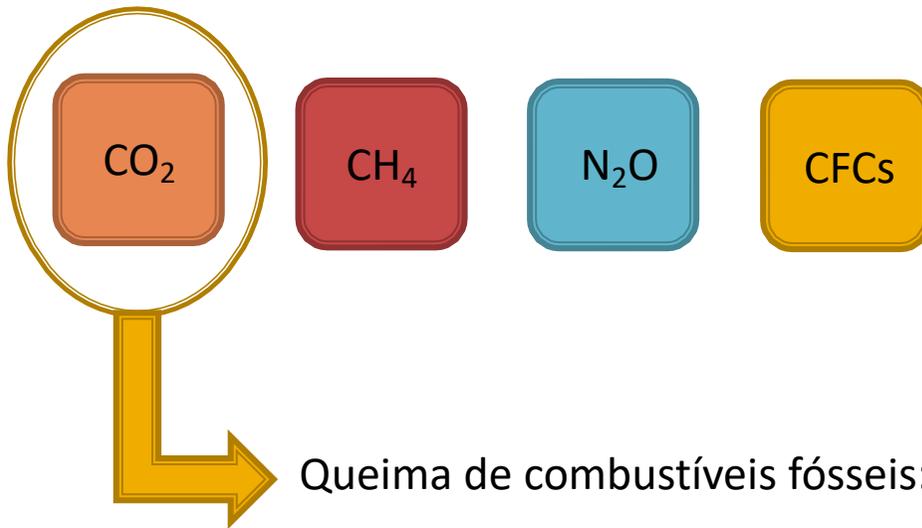
\* Partes por milhão \*\* Partes por bilhão

Fonte: OMM

# Poluição global

- **EFEITO ESTUFA**

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

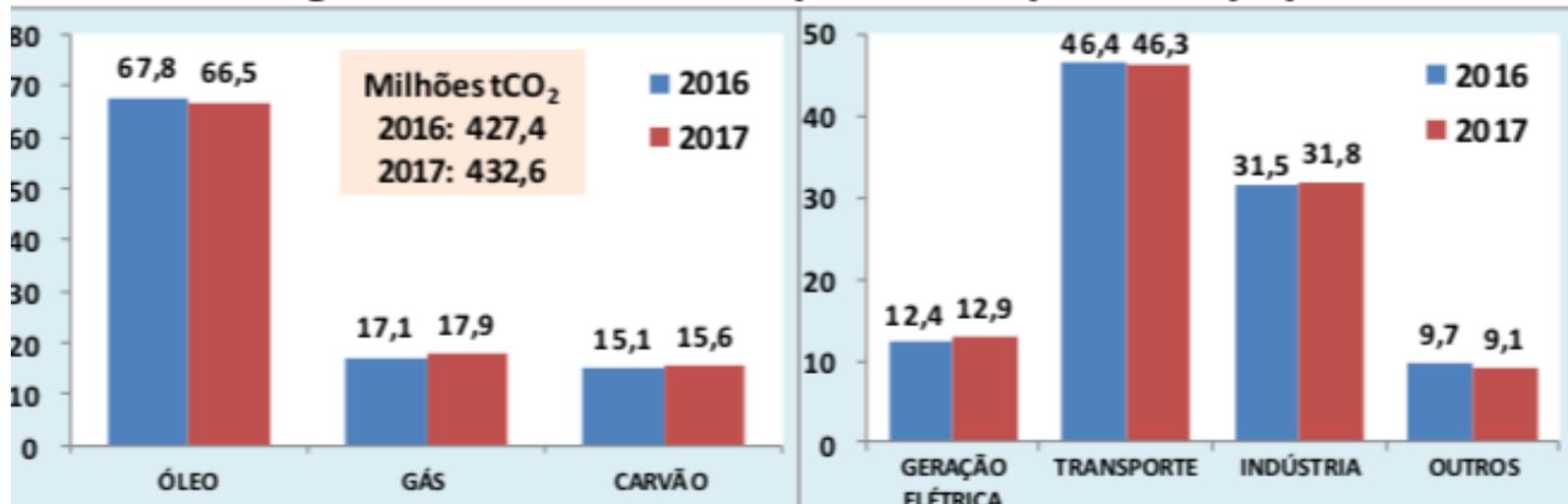


# Emissões de CO<sub>2</sub>

**Emissões de CO<sub>2</sub>: Brasil emite bem menos pelo uso de energia**

Brasil	OCDE	Mundo	2017
1,47	2,21	2,34	tCO <sub>2</sub> /tep

Figura 2: Emissões de CO<sub>2</sub> por Fonte e por Setor (%)



- Em 2015, a China e os Estados Unidos, com emissões de 14.088 milhões (M) de tCO<sub>2</sub>, responderam por 43,6% das emissões mundiais, que totalizaram 32.294 MtCO<sub>2</sub>.
- Em 2010, a participação foi menor, de 41,8%.

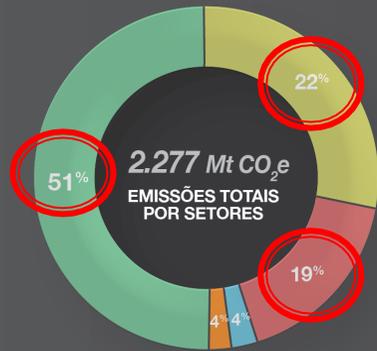


# EMISSÕES DE GEE NO BRASIL

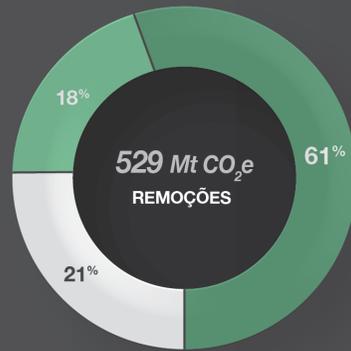
e suas implicações para políticas  
públicas e a contribuição brasileira  
para o Acordo de Paris

2018  
Documento  
de Análise

# GEE BRASIL 2016



- Uso da Terra
- Agropecuária
- Energia
- Indústria
- Resíduos



- Florestas em áreas protegidas
- Florestas secundárias
- Uso da Terra

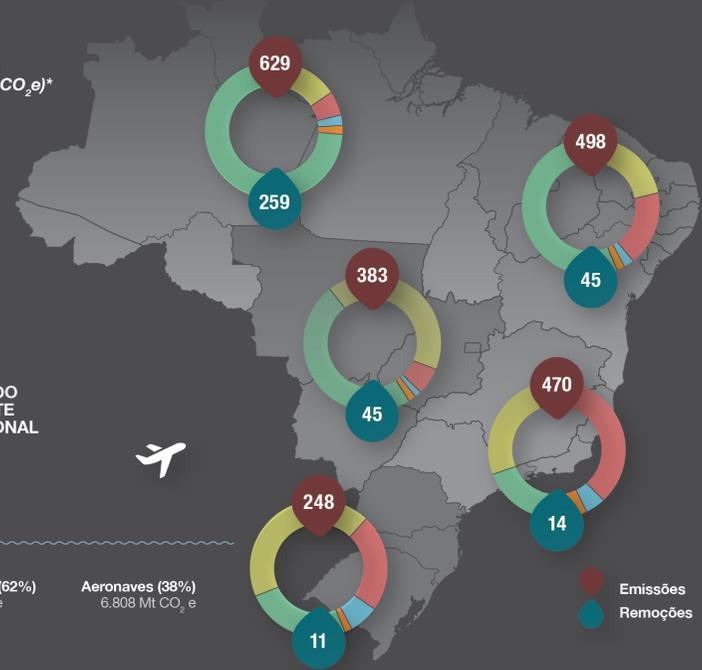
EMISSÕES TOTAIS POR REGIÃO (Mt CO<sub>2</sub>e)\*

EMISSÕES DO TRANSPORTE INTERNACIONAL (BUNKER)



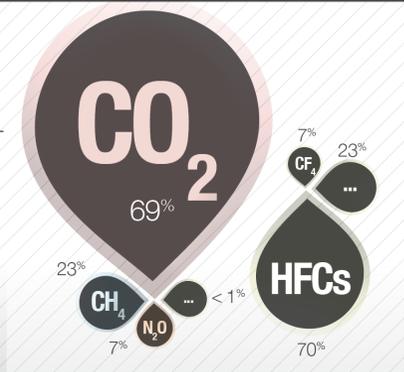
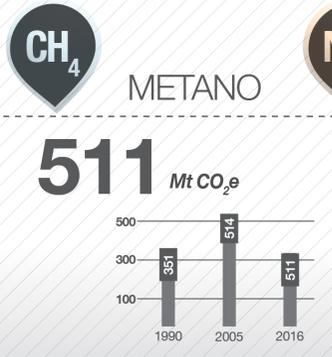
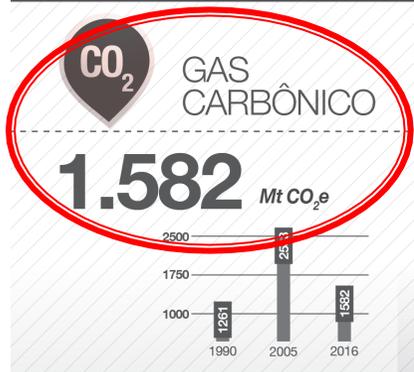
Embarcações (62%)  
11.041 Mt CO<sub>2</sub>e

Aeronaves (38%)  
6.808 Mt CO<sub>2</sub>e

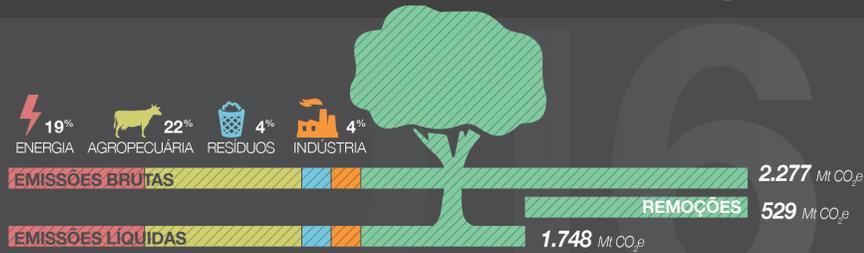


- Emissões
- Remoções

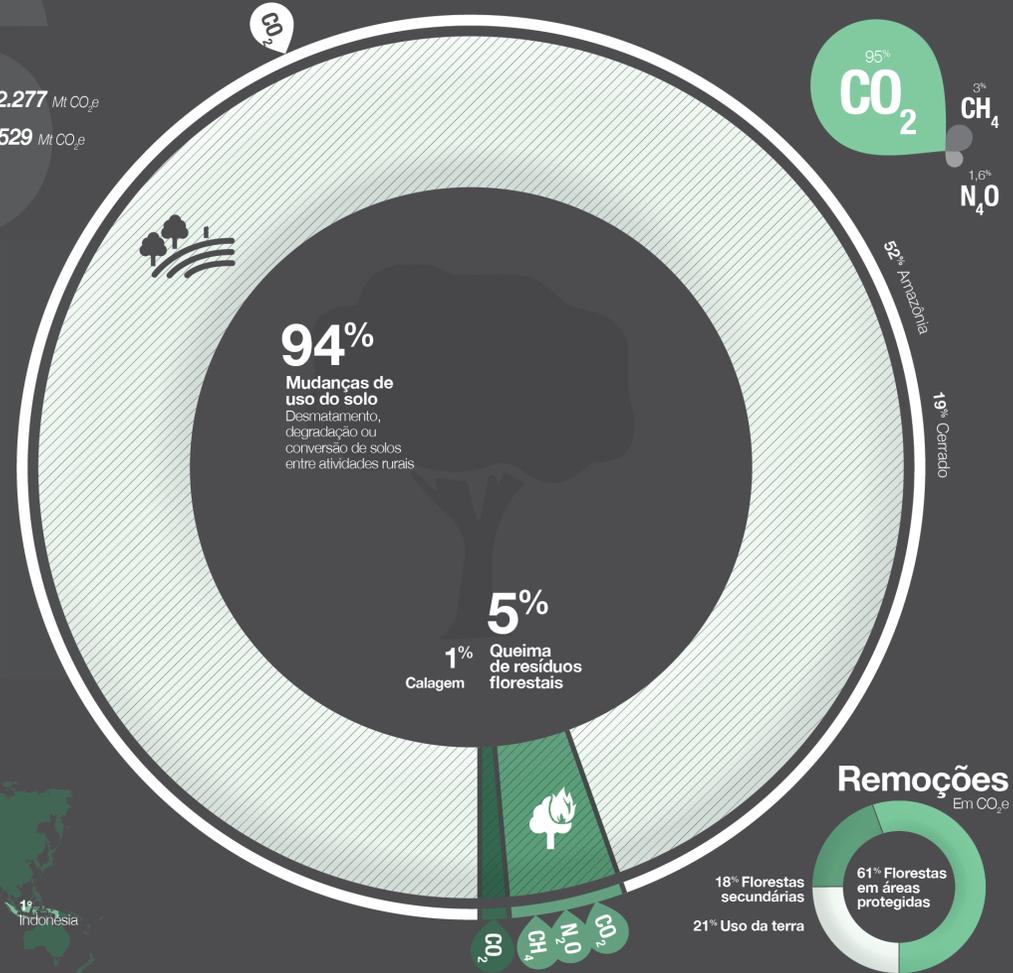
\* Fatores de conversão para CO<sub>2</sub>e GWP de acordo com o quarto relatório do IPCC (AR4). 29% das remoções não puderam ser alocadas. Fonte: WRI/CATZ e OCDE/IEA. OC/SEEG16-3017.







### Principais gases

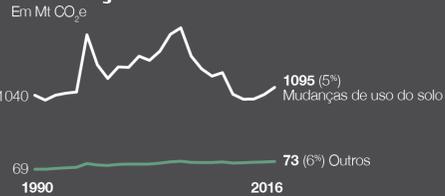


## USO DA TERRA

Emissões por mudanças de uso do solo, calagem e queima de resíduos florestais.



### Evolução



### Ranking



\* Fatores de conversão para CO<sub>2</sub>e GWP de acordo com o quarto relatório do IPCC (IPCC-AR4). Ranking: WRI/CAIT2.0 e CO2SEEQ. Fonte: CO2SEEQ-10-2017.

# 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: CO<sub>2</sub>)
    - Abatimento na meta
    - Cumprimento metas com < custo
  
  - Países em desenvolvimento:
    - Fonte extra de investimentos para o desenvolvimento sustentável

# Mercado de Carbono – Protocolo de Quioto

Exemplo de funcionamento de MDL:

EMISSÃO EMPRESA em 1990 = 100 tC



META em 2008-2012 = 95 tC

Período de 2008-2012

INVESTIMENTOS via MDL

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



BALANÇO de EMISSÕES  
tC emitido – tC compensado

200 tC – 105 tC = 95 tC



META  
CUMPRIDA

Empresa

Emite 200 tC

País

industrializado

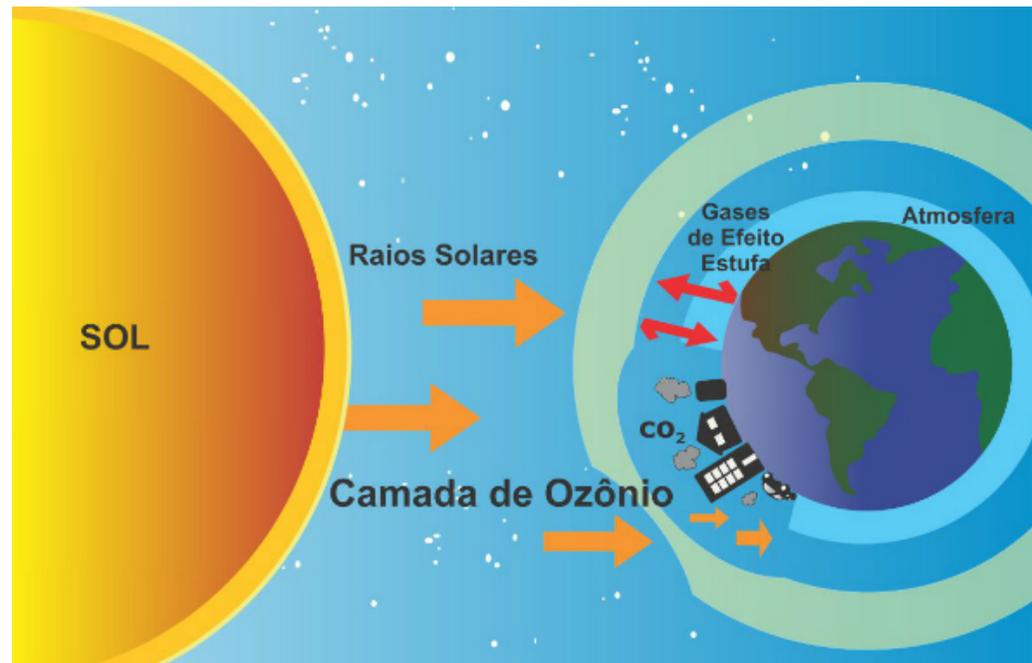
País

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
- Degradação catalítica por clorofluorcarbonos (CFCs)
- Incidência de câncer de pele, catarata, danos a materiais e plantas



# Poluição global

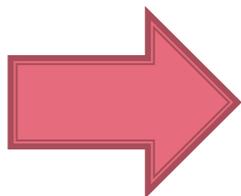
## ■ CHUVA ÁCIDA

- Emissão de óxidos de nitrogênio e enxofre

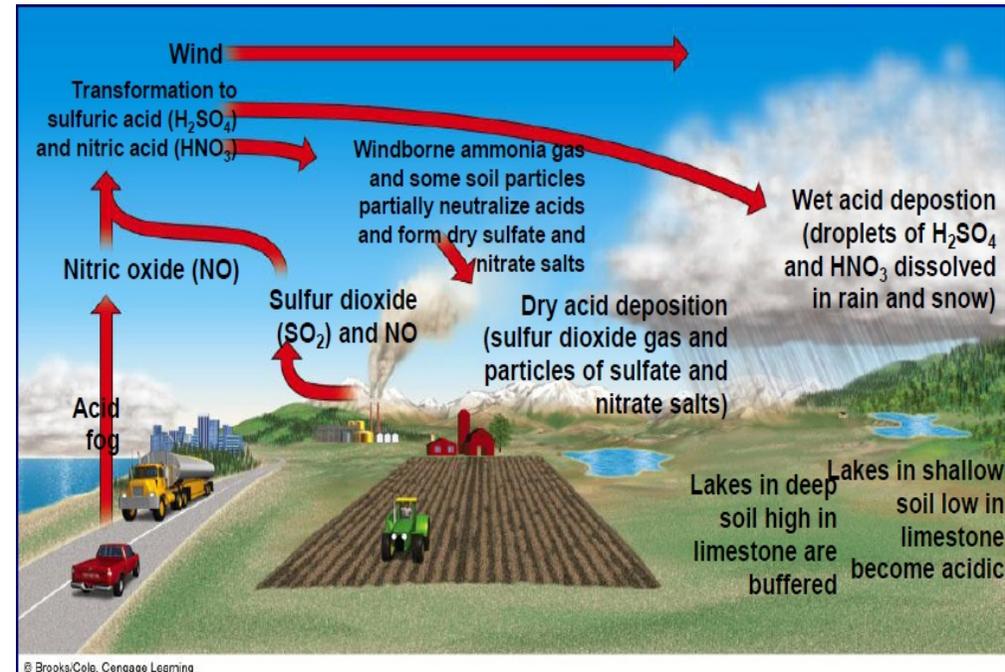


Formação de ácido nítrico e ácido sulfúrico

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



Quais as consequências da chuva ácida para obras em andamento?



# Poluição 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<sub>x</sub>, CO e hidrocarbonetos. Sujeitos a reações na presença de radiação solar.

# Poluição sonora

- Poluição por energia

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

SOM: resultado da vibração acústica capaz de produzir sensação auditiva

POLUIÇÃO SONORA: sons indesejáveis, ou em nível excessivo

Relativo

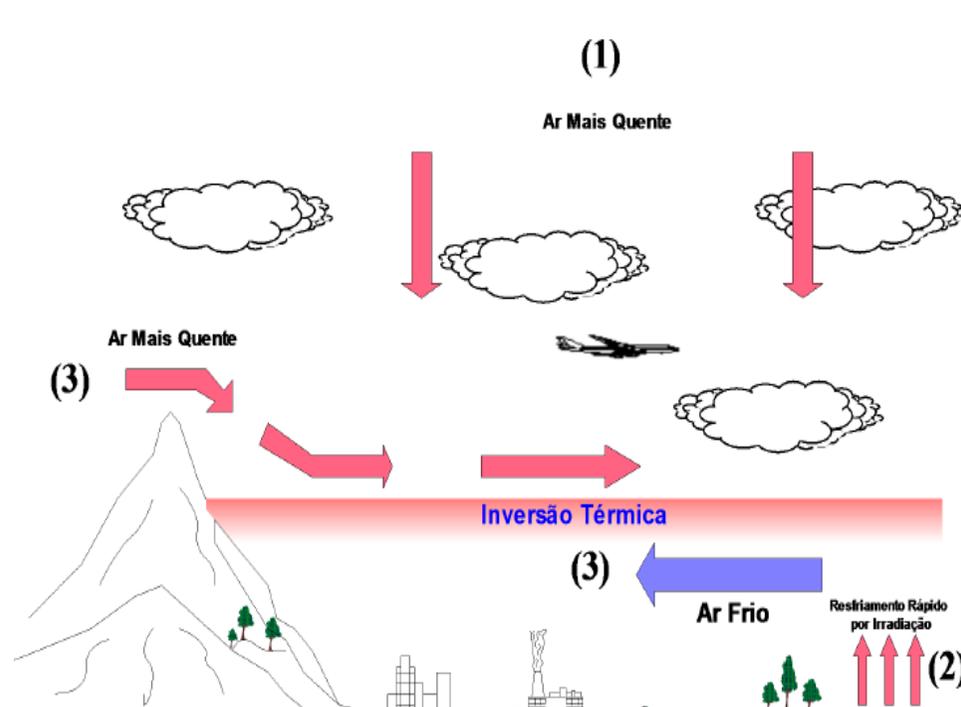
- Mitigação:

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

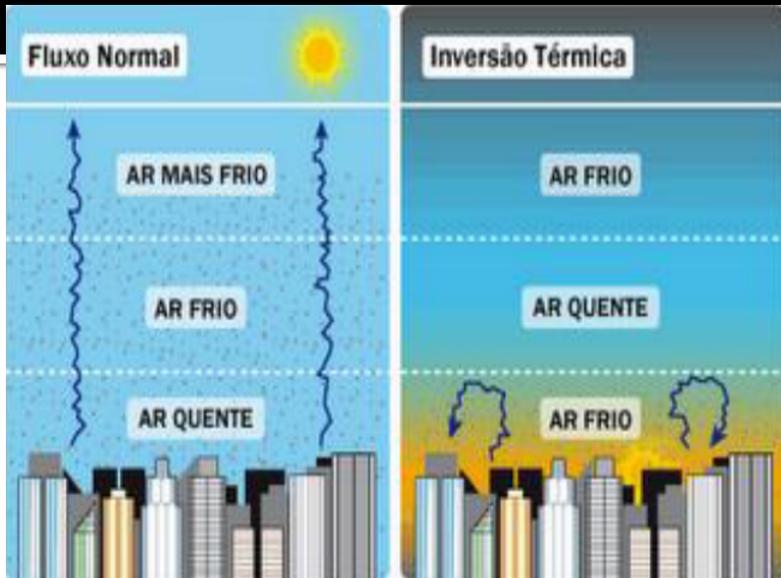
Fonte de Som	Intensidade (dB)	Percepção
Limite da audição	0	--X--
Movimento das folhas pela brisa	10	Muito quieto
Sussurrar	20	Muito quieto
Ruído em uma residência	45	Quietos
Tráfego leve (300 m)	55	Quietos
Conversação	65	Quietos
Avião a Jato (300 m)	100	Muito alto
Concentro de Rock	110	Muito alto
Trovão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

# 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

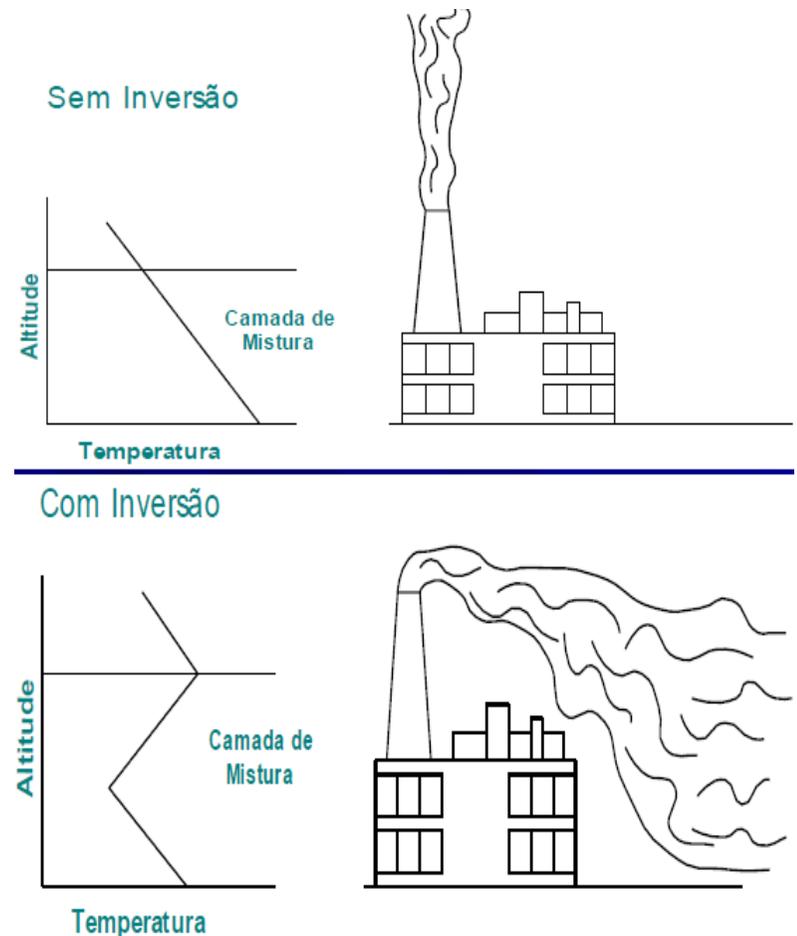


# Dispersão de poluentes no ar



- **INVERSÃO TÉRMICA:** incidência maior nos meses do inverno

- Em um dia normal: difusão - massa de ar quente próxima ao solo sobe, massa de ar fria desce. Se existem poluentes, estes são dispersos nas massas de ar.
- Em um dia de inversão: superfície esfria rápido, camada superior fica mais quente que a de baixo. Não há difusão. Se existem poluentes, os poluentes ficam retidos. Os poluentes retidos nas camadas da atmosfera próximas à superfície provocam doenças respiratórias e irritações nos olhos.



# Ilha de Calor

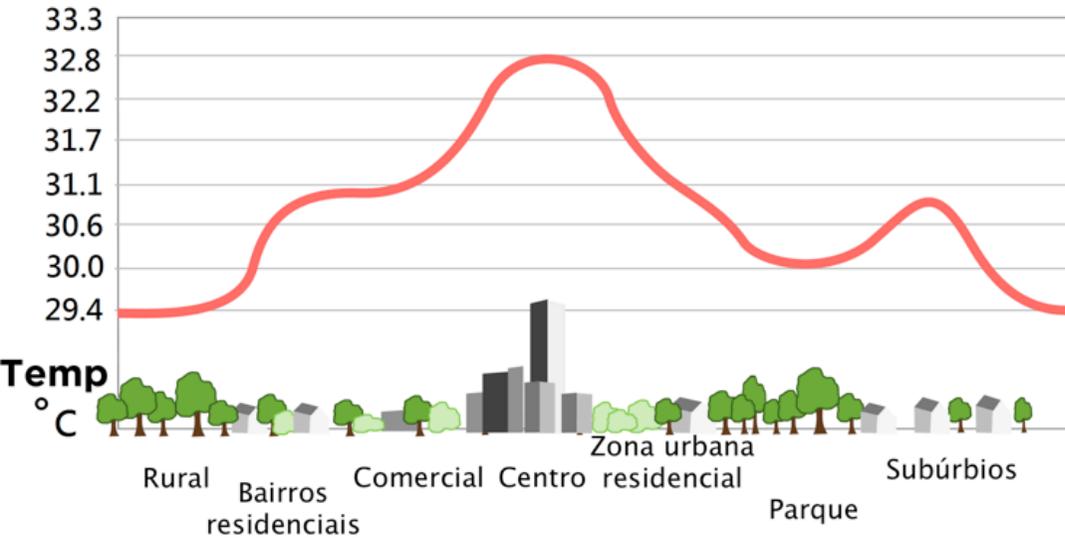
- Ilha de Calor é causada por ação humana
- Em centros urbanos, materiais de construção (concreto, asfalto e vidros) interferem na irradiação de calor das superfícies, causando aumento de temperaturas localizados
- Comprovadamente, o uso de superfícies verdes (telhados verdes, parques) auxilia na manutenção das temperaturas em ambientes urbanos.



“Isso não é uma Ilha de Calor”

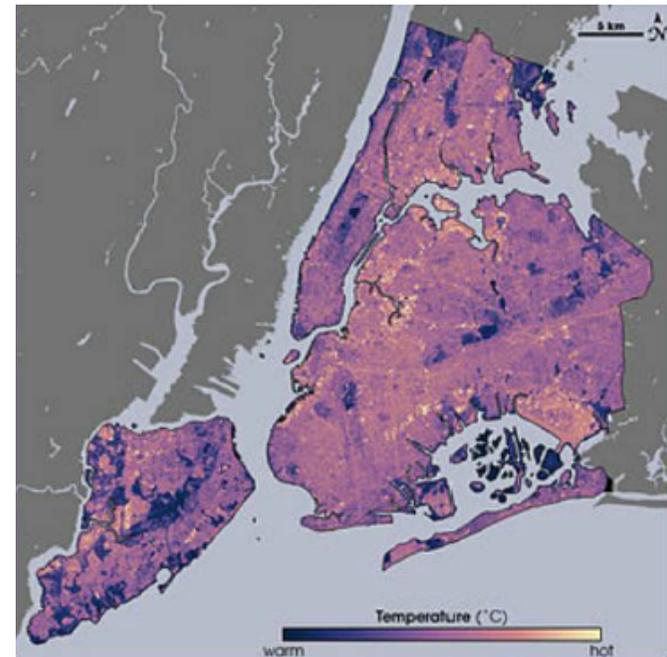
# Ilha de Calor

## Ilha de Calor



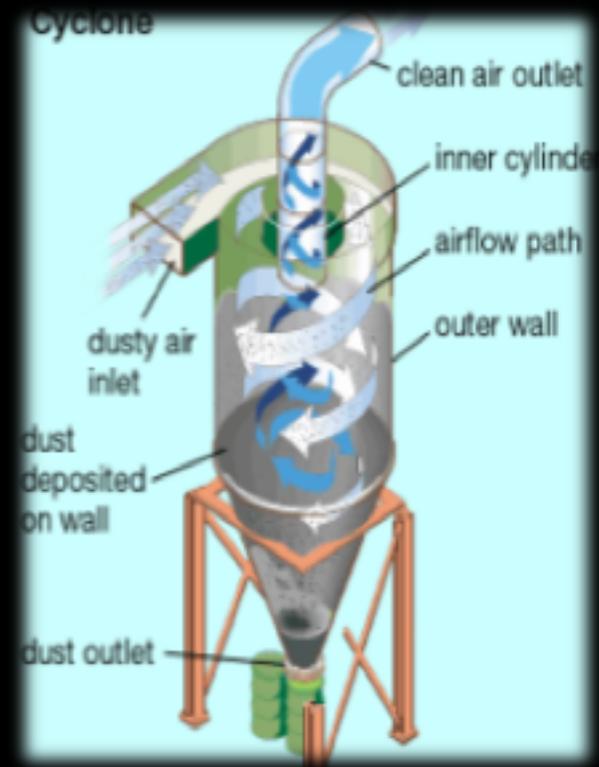
Temperatura

Vegetação



# Controle

controle da poluição do ar



# Normas de controle da poluição do ar

## ■ Federal:

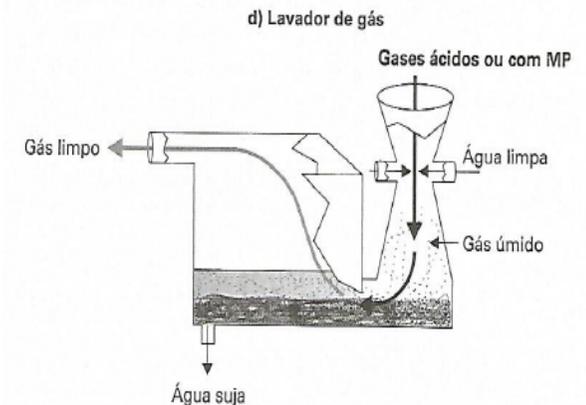
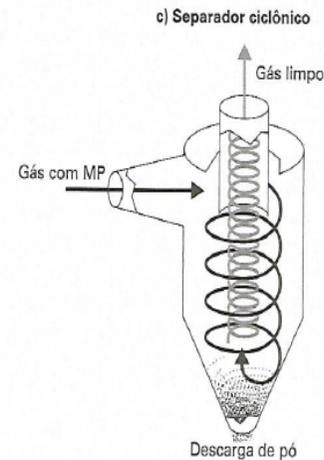
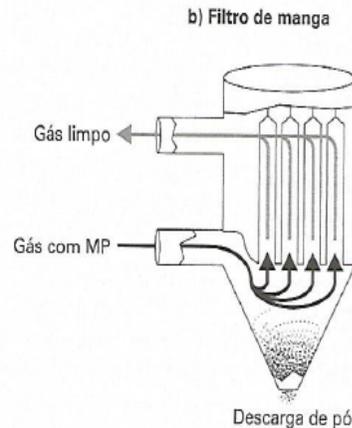
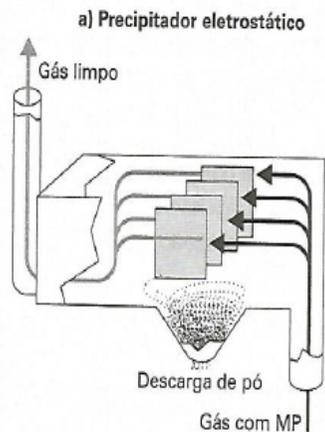
- Resolução CONAMA n° 18, 06/05/1986: Institui o Programa de Controle de Poluição por Veículos Automotores – PROCONVE.
- Resolução CONAMA n° 03, 28/06/1990: Estabelece os Padrões de Qualidade do Ar.
- Resolução CONAMA n° 08, 06/12/1990: Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes do ar para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

# 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

## ■ 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 um 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

# Modelo tradicional de controle da poluição

Padrões x emissões



Empresa A

Padrões x emissões



Empresa B

Padrões x emissões



Empresa C

# Modelo tradicional de controle da poluição

- Todas as empresas devem atender aos padrões estabelecidos;
- Controle individualizado pelos órgãos fiscalizadores;
- Maior dificuldade na obtenção de conformidade com padrões de qualidade ambientais;
- Custos associados ao controle da poluição e fiscalização dos empreendimentos.
  - Relação de dependência entre empresas e órgãos de controle ambiental;
  - Dentro de uma mesma instalação podem existir várias fontes de emissão;
  - Dificuldade da avaliação do efeito conjunto das emissões individuais.

## Solução alternativa

- Estados Unidos da América:
  - Clean Air Act 1990;
- Estabelece um novo conceito para o controle das emissões de SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub>, responsáveis pela ocorrência da chuva ácida;
- Baseada em um estudo de 10 anos para a avaliação das causas e efeitos relacionados à chuva ácida.

## Prerrogativas

- Presença de compostos ácidos e precursores na atmosfera:
  - Ameaça aos recursos naturais, ecossistemas, materiais, visibilidade e saúde pública.
- Queima de combustíveis fósseis como principal fonte de compostos ácidos e disponibilidade de estratégias e tecnologias para controle da deposição ácida.

## Finalidade

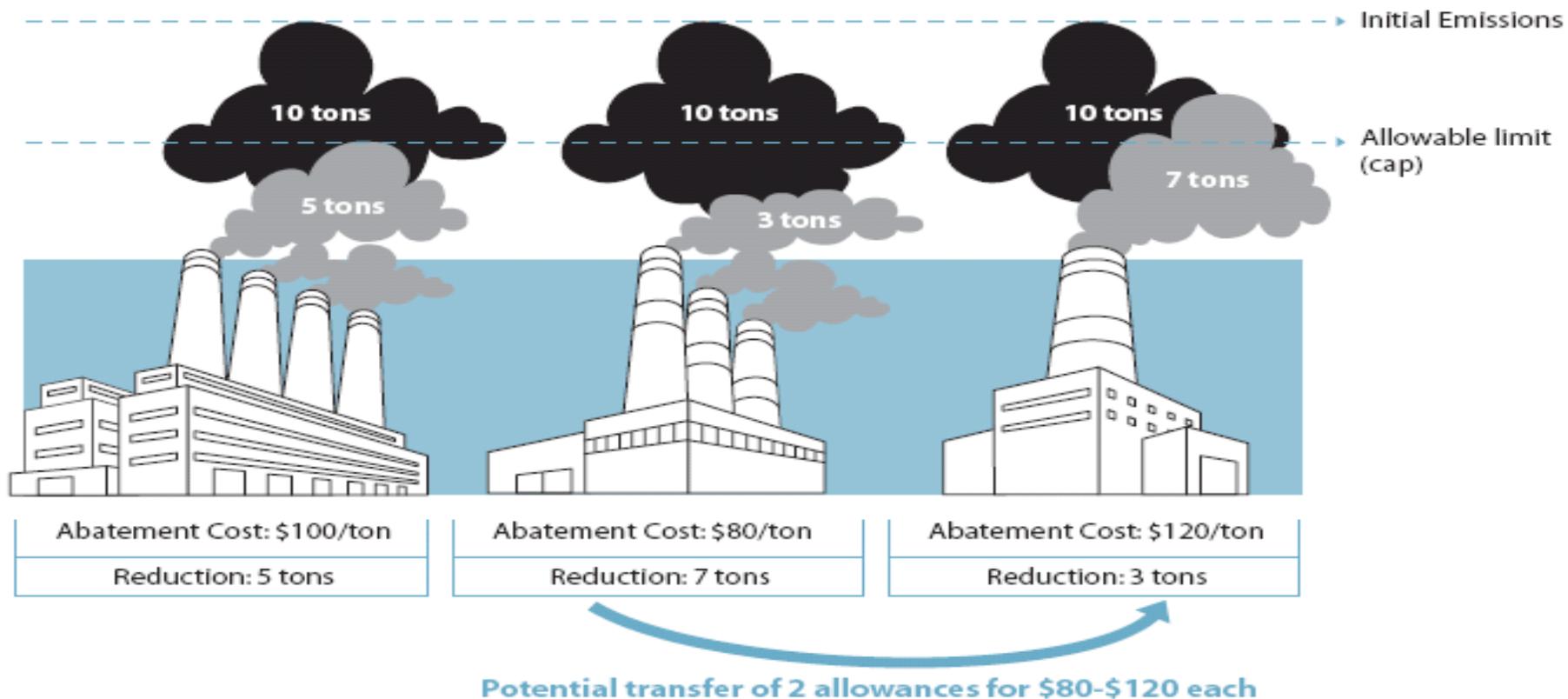
- Reduzir a emissão, em base anual, de SO<sub>2</sub> em 10 milhões de toneladas, a partir dos níveis de 1980;
- Reduzir a emissão, também em base anual, de NO<sub>x</sub> em 2 milhões de toneladas, a partir dos níveis de 1980.

# Mecanismo para redução das emissões

- Limitar a emissão por fontes afetadas, por meio de um programa específico;
- O atendimento às exigências definidas pode ser obtido:
  - Por métodos alternativos aos de controle da poluição;
  - Criação de um sistema de alocação e transferência de emissões.
- Estratégias de longo prazo:
  - **Encorajar métodos de conservação de energia**
  - **Adotar tecnologias alternativas**
  - **Implantar programas de prevenção da poluição**

## Permissões Negociáveis

- Trata-se de um conceito no qual as fontes de emissão são consideradas em conjunto;
- Estabelecimento **de um limite anual de emissão para poluentes específicos** (Teto): toneladas por ano



### Minimização de custos com a comercialização das permissões

# Resultados nos EUA

- Com a implantação do programa de permissões negociáveis houve uma significativa redução das emissões;
- Dados relacionados à qualidade do ar têm mostrado um declínio na concentração de SO<sub>2</sub>;
- Somente os benefícios relacionados à saúde **podem chegar a valores variando de 17 a 70 bilhões de dólares anuais.**

