

# Recursos Atmosfericos

Professor:  
Neyval Costa Reis Jr.



**Departamento de  
Engenharia Ambiental  
Centro Tecnológico  
UFES**

## Programa Detalhado

- Atmosfera
  - Camadas
  - Constituintes
  - Balanço de energia
  - Ventos na atmosfera
- Poluentes Atmosféricos 
  - Principais poluentes suas fontes e seus efeitos sobre as propriedades da atmosfera, a saúde humana e animal, os vegetais e os materiais.
  - Qualidade do ar
  - Gestão da qualidade do ar de uma região
  - Monitoramento da qualidade do ar
  - Estimativa de emissão
- Dispersão de poluentes na atmosfera
  - Meteorologia local e global da poluição do ar
  - Estabilidade atmosférica
  - Mecanismos de remoção
  - Elementos e fatores climáticos.
- Aproveitamento energético eólico.

## Poluentes Atmosféricos

## Poluentes Atmosféricos

- Principais poluentes suas fontes e seus efeitos sobre as propriedades da atmosfera, a saúde humana e animal, os vegetais e os materiais. 
- Qualidade do ar
- Gestão da qualidade do ar de uma região
- Monitoramento da qualidade do ar
- Estimativa de emissão

## Descrição e classificação de poluentes suas fontes e efeitos a saúde

---

### Classificação de contaminantes

#### atmosféricos:

- Poluentes Primários
  - São contaminantes que são lançados diretamente na atmosfera
- Poluentes Secundários
  - São contaminantes que não são lançados diretamente para a atmosfera, porém surgem como fruto de reações químicas a partir de poluentes primários e a atmosfera.

Poluentes como o  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  e  $\text{NO}$  são exemplos de poluentes primários.

$\text{O}_3$  é um bom exemplo de poluente secundário, pois não é emitido e surge na atmosfera devido a reações químicas de outros poluentes.

## Descrição e classificação de poluentes suas fontes e efeitos a saúde

---

### Classificação de acordo com o grupo físico-químico:

- Compostos de Enxofre
- Compostos de Nitrogênio
- Compostos Orgânicos Voláteis (COV's)
- Monóxido de Carbono
- Dióxido de Carbono
- CFC's
- Material Particulado

## Compostos de Enxofre

Os principais compostos de Enxofre são:

– Compostos reduzidos

–  $\text{H}_2\text{S}$

–  $\text{SO}_2$

Emitidos por fontes  
naturais e  
antropogênicas

–  $\text{SO}_3$

–  $\text{H}_2\text{SO}_4$

Gerados principalmente  
por reações químicas do  
 $\text{SO}_2$  na atmosfera

## Compostos Reduzidos de Enxofre

TSR – Total Sulphur Reduced Compounds

- Metil-mercaptana ( $\text{CH}_3\text{SH}$ ), Dimetil-sulfeto ( $\text{CH}_3\text{SCH}_3$ ) e Dimetil-disulfeto ( $\text{CH}_3\text{S}_2\text{CH}_3$ )
- Emitidos na atmosfera por processos naturais (principalmente degradação biológica marinha e terrestre), estações de tratamento de esgoto, indústria de celulose e outros.
- Em conjunto com o  $\text{H}_2\text{S}$  são os dos principais responsáveis pela sensação de odor.

## H<sub>2</sub>S (Ácido Sulfídrico)

- Emitido na atmosfera por processos naturais (principalmente degradação biológica marinha e terrestre), estações de tratamento de esgoto, indústria de celulose e outros.
- É um dos principais responsáveis pela sensação de odor.
- Depois de lançado na atmosfera, em algumas horas o H<sub>2</sub>S se oxida formando SO<sub>2</sub>.

### Exemplos de Compostos Odorantes

Nome do composto	Fórmula	Limite de detecção ppm (v/v)	Limite de reconhecimento ppm (v/v)	Qualidade do odor
Acetaldeído	CH <sub>3</sub> CHO	0,067	0,21	penetrante, causticante, fruta
Amônia	NH <sub>3</sub>	17	37	penetrante, causticante, irritante
Dimetil sulfeto	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> S	0,001	0,001	repolho deteriorado, alho
Etil amina	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> NH <sub>2</sub>	0,27	1,7	amoniacal
Metil mercaptana	CH <sub>3</sub> SH	0,0005	0,0010	repolho podre, alho
Metil amina	CH <sub>3</sub> NH <sub>2</sub>	4,7	-	pútrido, peixe
Ozônio	O <sub>3</sub>	0,5	-	penetrante, irritante
Sulfeto de hidrogênio	H <sub>2</sub> S	0,0005	0,0047	ovo podre
Tiocresol	CH <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> SH	0,0001	-	ranço, irritante

Fonte: Adaptado de WEF e ASCE (1995); Gostelow, Parsons e Stuetz (2001).

## Efeito dos compostos odorantes

---

- Em geral estes compostos estão presentes em concentração muito baixas, insuficientes para causar dano direto à saúde.
- Estudos recentes comprovam que a sensação de odor leva a perda de apetite, insônia, irritabilidade e aumento do nível de stress. Afetando de maneira geral a qualidade de vida da população afetada.

Exemplo:  $\text{H}_2\text{S}$  gera sensação de odor a partir de 0.5 ppb, mas seu limite de toxicidade (WHO) é de 10 ppm.

## $\text{SO}_2$ e $\text{SO}_3$ (Óxidos de Enxofre) - $\text{SO}_x$

---

- As principais fontes emissoras são os processos de combustão a carvão e outros combustíveis fósseis contendo enxofre, além de vulcões (fonte natural).
- Em menor escala, o  $\text{SO}_2$  também é produzido a partir da oxidação do  $\text{H}_2\text{S}$ .
- A maior parte das emissões de compostos de enxofre é  $\text{SO}_2$ , que posteriormente reage na atmosfera produzindo  $\text{SO}_3$  e  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

## Efeitos dos Óxidos de Enxofre

---

- Aumenta a ocorrência de doenças respiratórias crônicas, e aumenta o risco de crises agudas de doenças respiratórias
- Provoca danos nas folhas dos vegetais
- Acelera a corrosão de materiais.
- As emissões de  $\text{SO}_2$  e suas reações químicas formadoras de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  são os principais responsáveis pelo fenômeno da chuva ácida.

## $\text{H}_2\text{SO}_4$ (Ácido Sulfúrico)

---

- Formado a partir dos óxidos  $\text{SO}_2$  e  $\text{SO}_3$  quando estes são dissolvidos em água.
- O  $\text{H}_2\text{SO}_4$  é extremamente danoso a saúde e ao meio ambiente devido ao seu grande poder corrosivo.

Concentração de SO <sub>2</sub> no ar (ppm)*	Tempo de exposição	Efeitos sobre a saúde humana, vegetação, materiais e visibilidade.
400	—	Edema pulmonar inflamação nos brônquios
20	—	Irritação nos olhos, tosse em indivíduos adultos saudáveis.
10	10 min.	Espasmos bronquiais
8	—	Irritação na garganta em indivíduos adultos saudáveis
5	10 min.	Aumento da dificuldade respiratória em indivíduos adultos saudáveis em repouso
1	10 min.	Aumento da dificuldade respiratória em asmáticos em repouso e indivíduos adultos saudáveis fazendo exercícios físicos
0.5	10 min.	Aumento da dificuldade respiratória em asmáticos fazendo exercícios físicos
0.5	—	Limiar de percepção de odor do SO <sub>2</sub>
0.2	3 horas	Injúria foliar na vegetação
0.19	24 horas	Agravamento de doenças crônicas respiratórias em adultos
0.07	1 ano	Agravamento de doenças crônicas respiratórias em crianças

\* 1 ppm de dióxido de enxofre equivale a aprox. 2000 µg/m<sup>3</sup> (298 k, 101,325 kPa)

## Compostos de Nitrogênio

Os compostos de Nitrogênio de maior importância ambiental são:

- NH<sub>3</sub>
- NO<sub>x</sub> (NO + NO<sub>2</sub>)
- NO<sub>y</sub>

Soma do NO<sub>x</sub> com todos os outros produtos da oxidação do Nitrogênio na atmosfera (N<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, NO<sub>3</sub>, HNO<sub>3</sub>, PAN, ...)

## Compostos de Nitrogênio

---

Os compostos de Nitrogênio são de importância ambiental



Usualmente são menos considerados em aplicações de poluição. Porém alguns compostos deste grupo, como o PAN e o  $\text{HNO}_3$ , são importantes para o estudo das reações químicas da atmosfera

## $\text{NH}_3$ (Amônia)

---

- Formado principalmente da decomposição biológica terrestre, tratamento de efluentes líquidos (esgotos) e processos químicos industriais.
- Além de seu poder corrosivo, o  $\text{NH}_3$  é extremamente importante devido a percepção de odor.

## NO e NO<sub>2</sub> (Óxidos de Nitrogênio ou NO<sub>x</sub>)

---

- Formado em processos envolvendo altas temperaturas (combustão, por exemplo), devido a reação de oxidação do nitrogênio do ar (principalmente).
- A absorção de NO<sub>x</sub> pelo organismo humano esta associada com a formação de ácidos (**reação NO<sub>x</sub> + H<sub>2</sub>O**), causando irritação nos olhos e mucosas das vias respiratórias, bem como danos nos tecidos pulmonares.
- Além dos danos à saúde o NO<sub>x</sub> é ainda responsável pela chuva ácida e “[smog fotoquímico](#)”.

## Smog Fotoquímico

---



## Efeito dos óxidos de nitrogênio

- São os precursores dos oxidantes fotoquímicos, como ozônio e PAN's (Peroxi-acetilnitratos).
- Causam decremento da capacidade pulmonar, tosse, desconforto no peito, aumento do número e ataques de asma, dores de cabeça e irritação nos olhos.
- Causa injúrias crônicas nos vegetais.
- Como todo oxidante causa aceleração na deterioração de materiais, principalmente borracha, têxteis e corantes.

Concentração de $NO_2$ no ar (ppm)*	Tempo de exposição	Efeitos sobre a saúde humana, vegetação, materiais e visibilidade.
300	—	Morte rápida
150	—	Morte após 2 ou 3 semanas por bronquite fibrosa
50	—	Bronquite não fatal reversível
5	15 min.	Redução do transporte normal de gases entre o sangue e os pulmões em adultos saudáveis
2.5	2 horas	Aumento da dificuldade respiratória em adultos saudáveis
2	4 horas	Injúria foliar na vegetação
1.0	15 min.	Aumento da dificuldade respiratória em pessoas com bronquite
0.3	—	Cor castanha no horizonte a 1 km
0.25	Período de crescimento	Redução no crescimento e produtividade de tomateiros e laranjeiras
0.2	8 horas	Tecidos brancos se tornam amarelados
0.1	12 semanas	Desbotamento de cores no nylon
0.05	12 semanas	Desbotamento de cores no algodão e rayon
0.03	—	Cor castanha no horizonte a 10 km
<b>* 1 ppm de dióxido de nitrogênio equivale a 1882 <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> (298 K, 101,325 kPa)</b>		

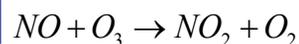
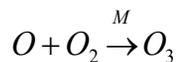
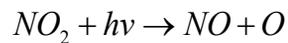
## NO e NO<sub>2</sub> (Óxidos de Nitrogênio ou NO<sub>x</sub>)

- O **NO** e o **NO<sub>2</sub>** participam, juntamente com o ozônio troposférico, do ciclo fotoquímico básico dos óxidos de nitrogênio e ozônio. Este ciclo fotoquímico causa o aumento da concentração de ozônio (**O<sub>3</sub>**) troposférico em cerca de 100 a 200 vezes em relação ao ar não poluído. O **O<sub>3</sub>** troposférico causa graves problemas respiratórios, destrói a flora e materiais duráveis.

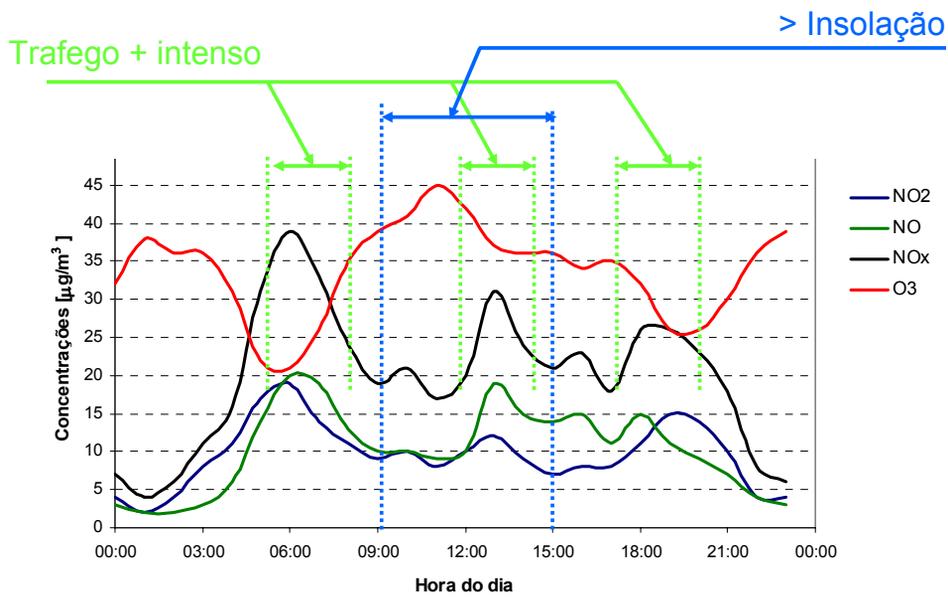
## Formação do Ozônio

**Quando todas as reações fotoquímicas possíveis são consideradas participam deste ciclo:**

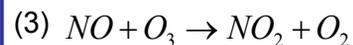
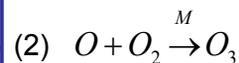
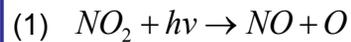
1. Monóxido de nitrogênio (NO)
2. Dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>)
3. Ozônio (O<sub>3</sub>)
4. Monóxido de carbono (CO)
5. Água (H<sub>2</sub>O)
6. Radical hidroxil (OH)
7. Metanol (HCHO)
8. Metano (CH<sub>4</sub>)



## Relação entre as concentrações horárias de NO, NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub> e O<sub>3</sub> observadas



## Formação do Ozônio



- Apesar de ilustrativas, é importante notar que somente as reações entre NO<sub>x</sub> e O<sub>3</sub> não explicam totalmente os altos níveis de ozônio formados na baixa atmosfera, pois não há produção líquida de O<sub>3</sub>.
- Reações adicionais envolvendo hidrocarbonetos na atmosfera, são uma fonte adicional de NO<sub>2</sub>, gerando mais O<sub>3</sub>.

## Efeitos do Ozônio

- Decremento da capacidade pulmonar, tosse, desconforto no peito, aumento do número de ataques de asma, dores de cabeça e irritação nos olhos.
- Causa injúrias crônicas nos vegetais.
- Como todo oxidante causa aceleração na deterioração de materiais, principalmente borracha, têxteis e corantes.

Concentração de $O_3$ no ar (ppm)*	Efeitos sobre a saúde humana e vegetação
10.0	Edema pulmonar grave; possível bronquite aguda; decréscimo na pressão sanguínea; rápida perda de <u>pulso</u>
1.0	Tosse; fadiga extrema; perda de coordenação; aumento da dificuldade respiratória; diminuição do volume de ar <u>expirado</u>
0.5	Constricção no peito; diminuição da capacidade de difusão de $CO$ ; decréscimo da função pulmonar em <u>repouso</u>
0.3	Dor de cabeça; desconforto no peito suficiente para impedir complemento de exercícios físicos; decréscimo da função pulmonar em <u>exercícios físicos</u>
0.25	Aumento na incidência e gravidade de ataques de asma; irritação moderada dos <u>olhos</u>
0.15	Para indivíduos sensíveis, redução na capacidade pulmonar; desconforto no peito; irritação do trato respiratório; tosse e chiado.
0.03	Limiar de injúria na vegetação

\* 1 ppm de ozônio equivale a  $1960 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (298 K, 101,325 kPa)

## Compostos de Carbono ou Compostos Orgânicos Voláteis (COV's)

---

- O termo COV é usado para designar todos os compostos de orgânicos gasosos na atmosfera. Neste grupo podemos destacar:
  - Dioxinas
  - Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAHs)
  - Benzeno
  - Aldeídos
  - Metano

## Dioxinas

---

- Nome genérico de compostos de hidrocarbono e cloro, liberados na atmosfera quando da produção de algumas substâncias conservantes de madeira e pesticidas e quando da incineração de alguns tipos de plástico (PVC'S) e pneus.
- **Riscos à Saúde:** Comprovadamente carcinogênico (causa câncer) e teratogênico (causa malformações estruturais no feto, baixo peso e/ou disfunções metabólicas e biológicas). Pode afetar o sistema imunológico, cardiovascular, endócrino, gastrointestinal, respiratório e reprodutivo.



## Benzeno

---

- Usado em lubrificantes, peças automotivas, tintas seladoras e preparados de lavanderias.
- É emitido para a atmosfera principalmente por evaporação.
- **Riscos à Saúde:** Comprovadamente carcinogênico (causa câncer), teratogênico (causa malformações estruturais no feto, baixo peso e/ou disfunções metabólicas e biológicas) e tóxico para o sistema reprodutivo (causa disfunções sexuais, abortos e infertilidade). Também pode provocar deficiências imunológicas e disfunções neurológicas.



## Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAHs)

---

- Em virtude do seu potencial carcinogênico, os compostos policíclicos aromáticos são de grande interesse.
- Os PAHs se formam a partir da queima incompleta de substâncias orgânicas.
- Na fumaça do cigarro foram encontrados 280 diferentes tipos de PHAs e no escapamento de veículos 146.
- Os PAHs formados nos processos de combustão são adsorvidos principalmente em partículas de poeira e de fuligem. Dependendo da temperatura e da pressão do vapor, eles permanecem na atmosfera, em parte na forma gasosa.



## Compostos de Carbono ou Compostos Orgânicos Voláteis (COV's)

---

- Muitos dos COV's emitidos para a atmosfera são **carcinogênicos** (como as dioxinas e PAHs).
- A maioria dos COV's causa irritação nos olhos e são grandes responsáveis pela percepção do odores (em conjunto com os compostos de enxofre).
- Participam de maneira importante nas reações que levam a formação de  $O_3$  na baixa atmosfera.

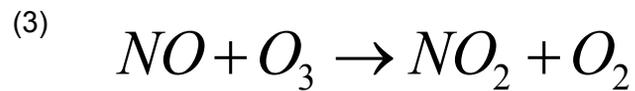
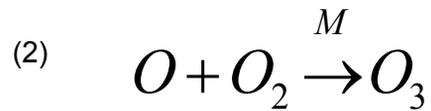
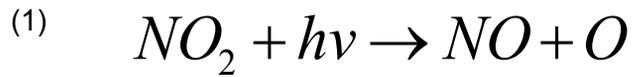
## Formação do Ozônio

---

- As reações entre  $NO_x$  e  $O_3$  não geram níveis elevados de  $O_3$ , pois a maior parte do  $NO_x$  emitido é  $NO$  e não  $NO_2$ . Com base apenas nas reações entre  $NO_x$  e  $O_3$ , o  $NO_2$  (que produz  $O_3$ ) só é gerado através da destruição do  $O_3$ , não havendo produção líquida de  $O_3$ .
- Reações adicionais envolvendo hidrocarbonetos e o  $CO$  na atmosfera, são uma fonte adicional de  $NO_2$ , gerando mais  $O_3$ .

## Reações entre NOx e O<sub>3</sub>

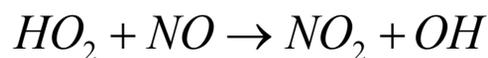
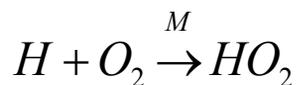
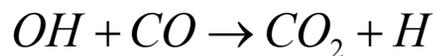
---



## Formação do Ozônio (papel dos COV's e CO)

---

- A oxidação do NO para NO<sub>2</sub> na atmosfera está bastante ligada a presença dos radicais OH e HO<sub>2</sub> na atmosfera (que são gerados por reações iniciadas pela radiação solar). Um exemplo simplificado destas reações pode ser dado pelo CO:



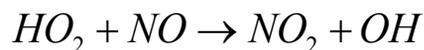
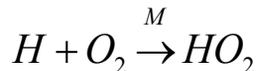
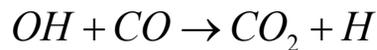
## Formação do Ozônio (papel dos COV's e CO)

---

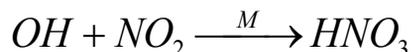
- O radical OH é a chave para o processos de criação do O<sub>3</sub>. A reacção (CO + OH) ou (COV + OH) inicia a sequência que leva ao O<sub>3</sub>. Para COV's mais complexos várias reacções intermediárias estão envolvidas, passando pela formação de radicais alquil, alquil peroxil, aldeídos e H<sub>2</sub>O.



- É importante notar que este ciclo tem o potencial de elevar consideravelmente os níveis de O<sub>3</sub> na atmosfera, pois o radical OH inicia a cadeia de reacções e depois se regenera para iniciar um novo ciclo.



- Entretanto reacções concorrentes removem o radical OH e o NO<sub>2</sub> do ciclo limitando a formação do O<sub>3</sub>



## Compostos de Carbono ou Compostos Orgânicos Voláteis (COV's)

---

- São emitidos principalmente de 2 formas:
  - Como resíduos de combustão incompleta de combustíveis fósseis, plásticos e outros compostos de carbono.
  - Evaporação de reservatórios ou em processos de fabricação, pois são bastante voláteis de maneira geral.
- Quando formados em processos de combustão podem ser adsorvidos principalmente em partículas de poeira e de fuligem. Dependendo da temperatura e da pressão do vapor, eles permanecem na atmosfera, em parte na forma gasosa.

## CO (Monóxido de Carbono)

---

- Emitido principalmente em processos de combustão e em menor escala por processos de siderúrgicos.
- Interfere no transporte de oxigênio pelo sangue, combinando-se com a moléculas de hemoglobina. A longo prazo reduz a capacidade aeróbia do organismo e agrava doenças cardiovasculares.
- A exposição a concentrações elevadas é letal.

## CO<sub>2</sub> (Dióxido de Carbono)

---

- Emitido principalmente em processos de combustão em geral e em menor escala por processos de siderúrgicos.
- É apontado como um dos principais causadores do “**Efeito Estufa**”, pois o aumento de sua concentração na atmosfera possibilita uma maior absorção da radiação solar causando um aumento global de temperatura.

## CFC's (Cloro Fluor Carbonos)

---

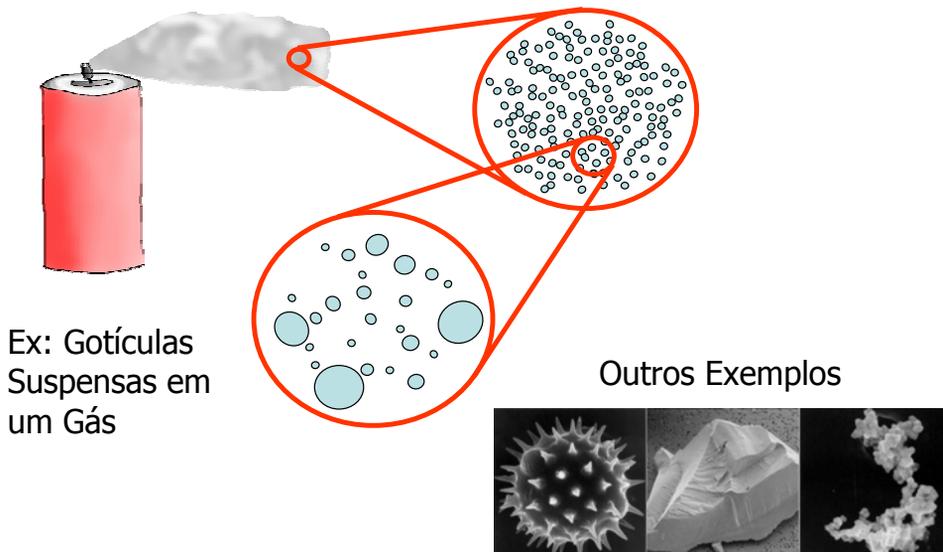
- Conhecidos como os destruidores da camada de ozônio.
- Os CFC eram bastante utilizados como propelente para aerossóis, líquidos refrigerantes e na fabricação de alguns plásticos.
- Os CFC são compostos altamente estáveis (dai sua grande aplicação industrial), que permanecem inertes na atmosfera por um longo período de tempo até que os movimentos de circulação da atmosfera os levem para altitudes mais elevadas. Em grandes altitudes (na estratosfera), onde a radiação solar é mais intensa, os CFC's se decompõem liberando átomos de Cl que são grandes destruidores de O<sub>3</sub>.

# Material Particulado

- Também chamado de partículas em suspensão ou aerossóis.
- Grupo de substâncias ou materiais no estado sólido ou líquido, cujas dimensões são suficientemente pequenas para se manter em suspensão na atmosfera durante algum tempo.
- O tempo de permanência destas partículas na atmosfera esta relacionado com o seu tamanho e densidade.

## O que é um AEROSOL?

Sistema de Partículas Suspensas em um Gás



## O AEROSSOL ATMOSFÉRICO

---

Os aerossóis são definidos como partículas sólidas ou líquidas em suspensão em um gás.

Aerossóis de origem primária: sal marinho, aerossol mineral, poeira vulcânica, fuligem (black carbon), etc.

Aerossóis secundários: aerossol sulfato e nitratos.

Fontes naturais: erupções vulcânicas, poeiras provenientes do solo, vegetação (aerossol biogênico), etc.

Fontes antropogênicas: queima de combustíveis fósseis, mudanças do uso da terra e a queima da biomassa.

## Tamanho das Partículas em Sistemas de Aerossóis

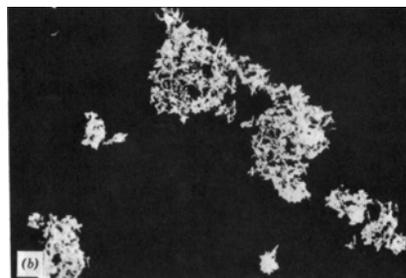
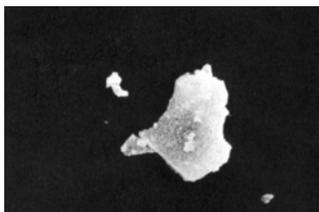
---

- TAMANHO TÍPICO DE AEROSSÓIS: aglomerados moleculares com alguns poucos nanômetros até décimos de mm.

0,001 – 100 microns      onde  $1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$

- O AEROSOL mais comum é o AR AMBIENTE.
- O TAMANHO DA PARTÍCULA DETERMINA, por exemplo:
  - Probabilidade de deposição no sistema respiratório.
  - Propriedades de transporte = Tempo de residência.
  - Espalhamento de luz (Aquecimento Global, Visibilidade).
  - O método de tratamento necessário, etc...

# Geração de Partículas



## Emissões Antropogênicas (M ton/ano, US EPA - 1982)

Combustíveis e Proc. Ind.	10
Emissões Fugitivas Ind.	3,3
Emissões Fug. Não Ind. (*)	110-370
Transportes	1,3
TOTAL:	125-385

(\*)Tráfego em estradas pavimentadas ou não, agricultura, construções, queimadas, ... – partículas grandes

Estimativa global de partículas menores que  
20 microns emitidas ou formadas na atmosfera  
(M ton/ano, ONU-1979)

---

Solo e erosão de rochas	50-250
Incêndios de florestas	1-50
Sal marinho	300
Emissões vulcânicas	25-150
Partículas formadas por emissões gasosas	345-1100
TOTAL	721-1850

Concentrações típicas de material particulado  
na atmosfera

---

Ar Limpo	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (100 $\#/\text{cm}^3$ )
Áreas Urbanas	60 a 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Áreas Poluídas	2000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ( $10^5$ $\#/\text{cm}^3$ )
PQA	Limite 80-60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

# Principais Fontes de Material Particulado

- Fontes naturais
  - finos e poeiras provenientes do solo
  - sal marinho
  - cinzas vulcânicas
- Fontes antropogênicas
  - cinzas dos processos de combustão
  - finos e poeiras gerados em processos industriais
  - hidrocarbonetos não queimados (fuligem)
  - Formação de sulfatos, nitratos e ácidos a partir da emissão de  $\text{NO}_x$  e  $\text{SO}_x$ .
  - Aglomeração de moléculas e condensação de gases na atmosfera

## COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS AEROSSÓIS

Composição química	Fontes
Material carbonáceo	Partículas de fuligem primárias emitidas durante os processos de combustão e material orgânico secundário formado na atmosfera. Queima de combustíveis fósseis em motores de combustão interna e queima da biomassa. Partículas emitidas: carbono orgânico e principalmente carbono elementar ( <i>black carbon</i> ).
Sulfato	Aerossol secundário formado pela conversão do vapor do ácido sulfúrico, devido à oxidação atmosférica do $\text{SO}_2$ e seus precursores (sulfato dimetil) para sulfato.
Nitrato	Aerossol secundário formado pela conversão do vapor de ácido nítrico, devido à oxidação atmosférica do $\text{N}_2$ para nitrato.
Amônia	Aerossol secundário proveniente das emissões de amônia, principalmente na agricultura, que reage na atmosfera com ácidos sulfúricos e nitratos. Está presente na atmosfera principalmente como sulfato amônia e nitrato amônia.
Magnésio e compostos de sódio	Proveniente do sal removido do gelo de rodovias e principalmente do spray marinho.
Potássio e compostos de cálcio	Associados com rochas e solos e entram na atmosfera principalmente por processos de re-suspensão e erosão.
Cloro	As principais fontes são o sódio e o sal-marinho. Pode também ser originado durante a queima de carvão e processos de incineração.
Material biogênico	Emitido de fontes biológicas. A vegetação florestal é a principal fonte. Composta de diferentes partículas: polens, bactérias, esporos, fungos, algas, etc.

# Bio-aerosóis

---

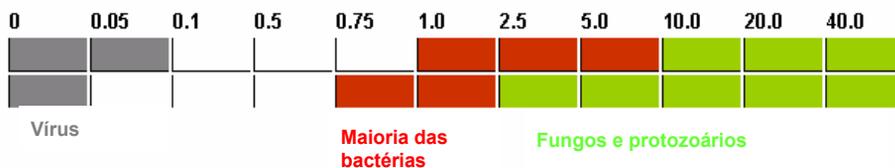
## Bioaerosóis:

- Microorganismos
  - Bactérias
  - Vírus
  - Fungos
- Biotoxinas (toxinas produzidas por microbios)

# Bio-aerosóis

---

## Tamanho da célula ( $\mu\text{m}$ )



## **A QUEIMA DA BIOMASSA**

---

Nas regiões tropicais tem ocorrido um aumento significativo das emissões de aerossóis provenientes dos incêndios naturais sazonais ou intencionais.

A queima da biomassa é uma prática comum para converter a vegetação em campos de pastagem, removê-la para promover a agricultura e na eliminação de resíduos após as colheitas.

A fumaça da queima da biomassa pode causar perturbação no balanço de radiação local, regional e até global.

O maior percentual de aerossóis produzidos pela queima de biomassa é de partículas com  $d_{ap} < 2,0\mu\text{m}$ , em proporção de aproximadamente 90% (EPA, 1998a).

## **AS QUEIMADAS NAS REGIÕES DA AMAZÔNIA E DE CERRADO BRASILEIRO**

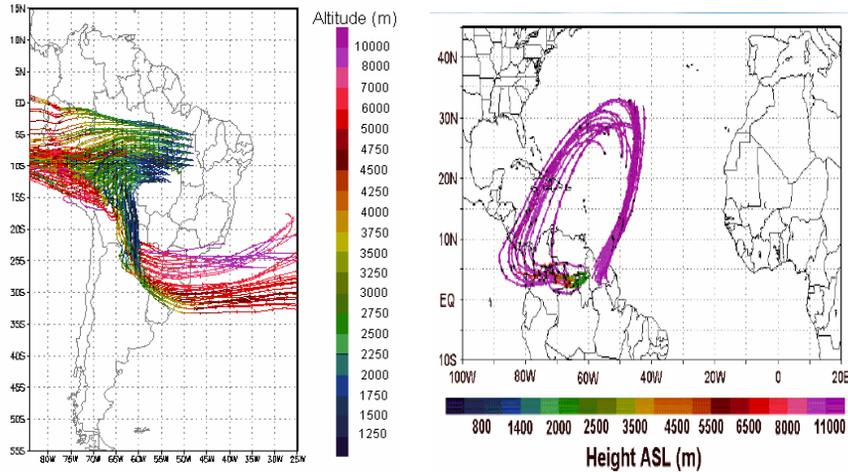
---

Amazônia: 5,5 milhões de  $\text{km}^2$ , taxa de desflorestamento: 20 – 30000  $\text{km}^2$  por ano. Concentrações de aerossóis variam de 5-12  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  sem influência das queimadas para 500  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  em regiões afetadas pela queima da biomassa.

Cerrado: 2,0 milhões de  $\text{km}^2$ , 22% do território nacional, 40% de sua extensão atualmente são transformados em pastagens cultivadas e agricultura intensiva.

O atual conhecimento científico é insuficiente para avaliar quais os impactos ambientais causados pelas mudanças climáticas relacionadas às atividades antropogênicas.

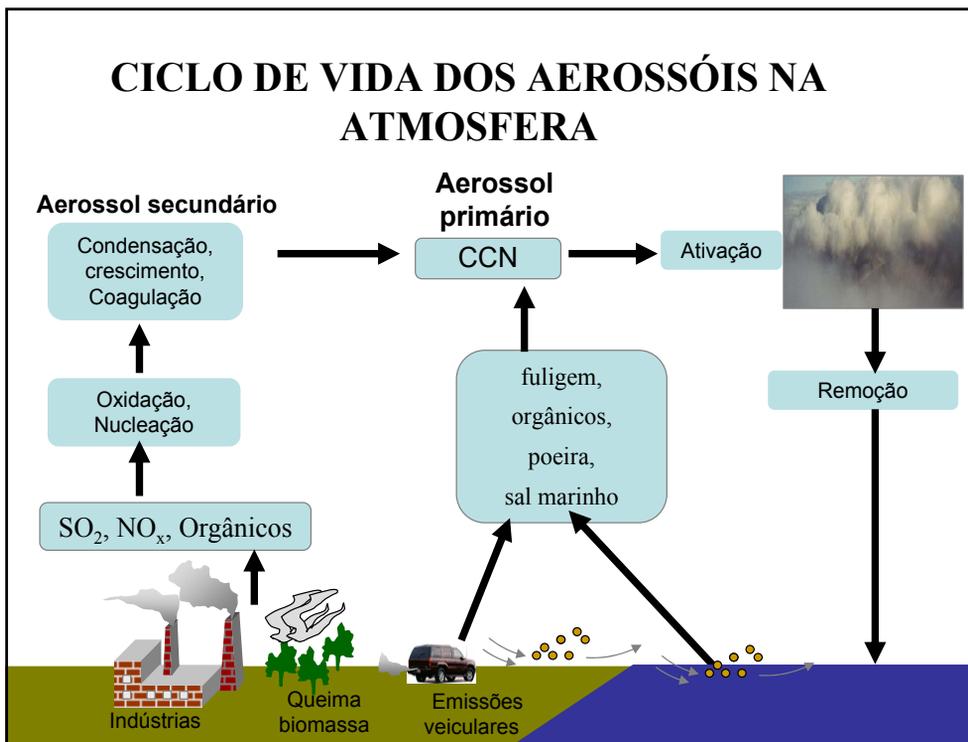
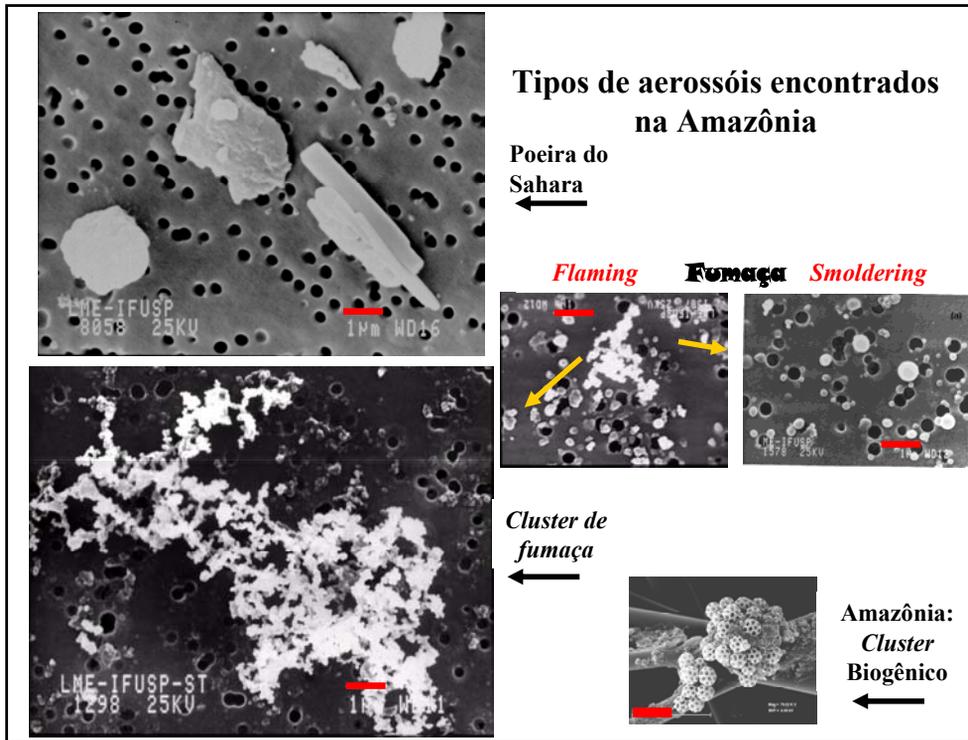
A Amazônia é uma região de meteorologia com intensa atividade convectiva (Greco et al., 1990).



**A fumaça de queimadas cobre áreas de milhões de km<sup>2</sup>**

### Mecanismos de geração de aerossóis na Região Amazônica

Tipo de partícula	Fontes e composição
Aerossol biogênico primário	Emitidos pela vegetação. Partículas da moda grossa ( $d_{ap} > 2,5\mu\text{m}$ ). Pólenes, esporos, bactérias, fungos, etc. Elementos associados: P, S e Zn
Aerossol biogênico secundário	Formados pela conversão de gases biogênicos a partículas. Compostos principalmente por partículas da moda fina ( $0,001\ \mu\text{m} < d_{ap} < 2,5\ \mu\text{m}$ ).
Poeira mineral	Mudanças do uso da terra. Elementos associados: Al, Si, Mg, Fe, Ti e Cl.
Aerossol marinho	Sal do mar. Principal componente: Cl
Aerossol da queima da biomassa	Incêndios sazonais e antropogênicos. Principal elemento é o <i>black carbon</i> . Outros: MPF, K, Cl, Zn, etc. Predominância de partículas com $d_{ap} < 2,5\ \mu\text{m}$ .



## Material Particulado

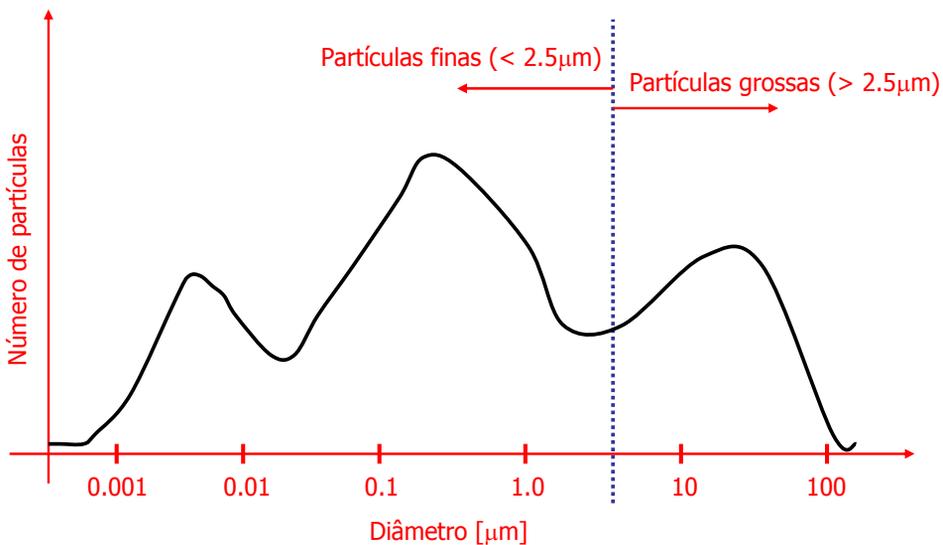
---

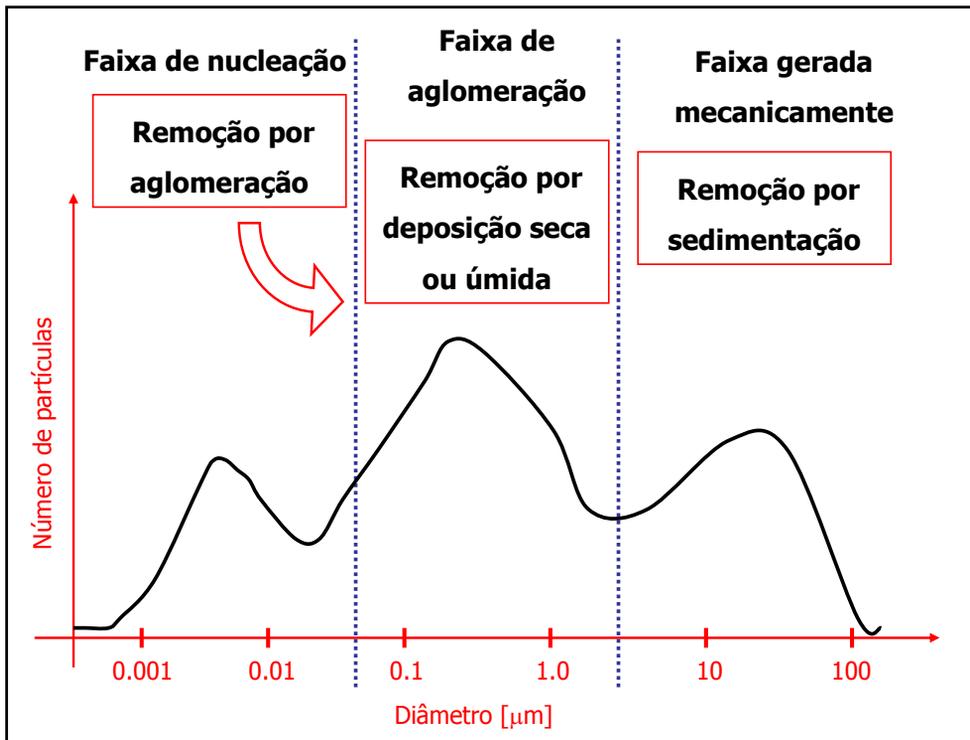
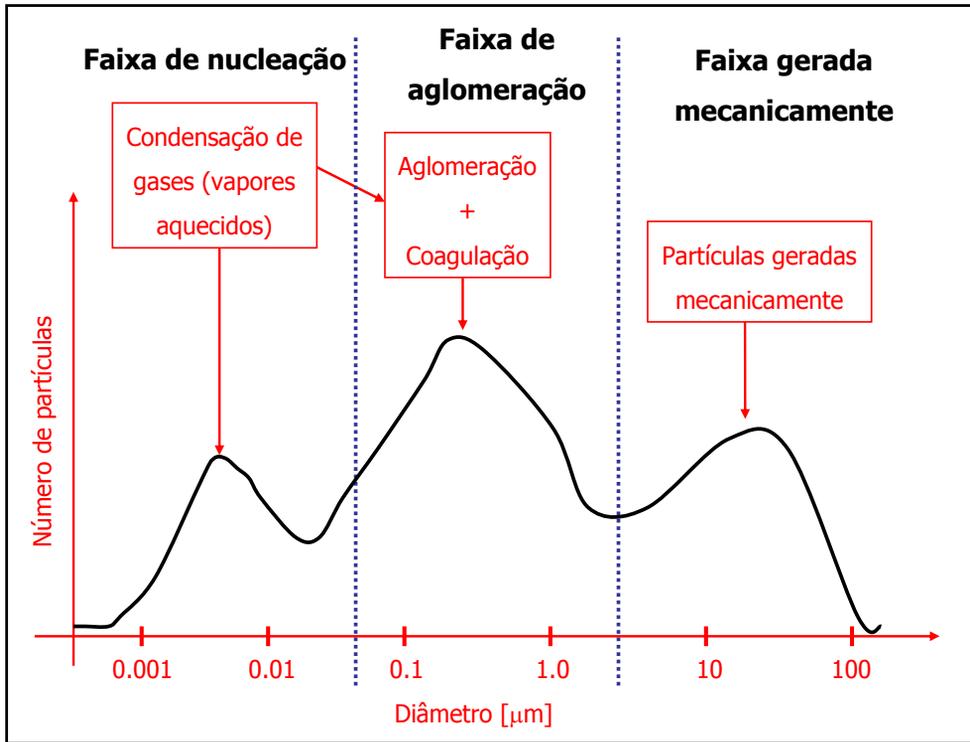
A legislação ambiental prevê 3 parâmetros para caracterizar a presença de particulados na atmosfera :

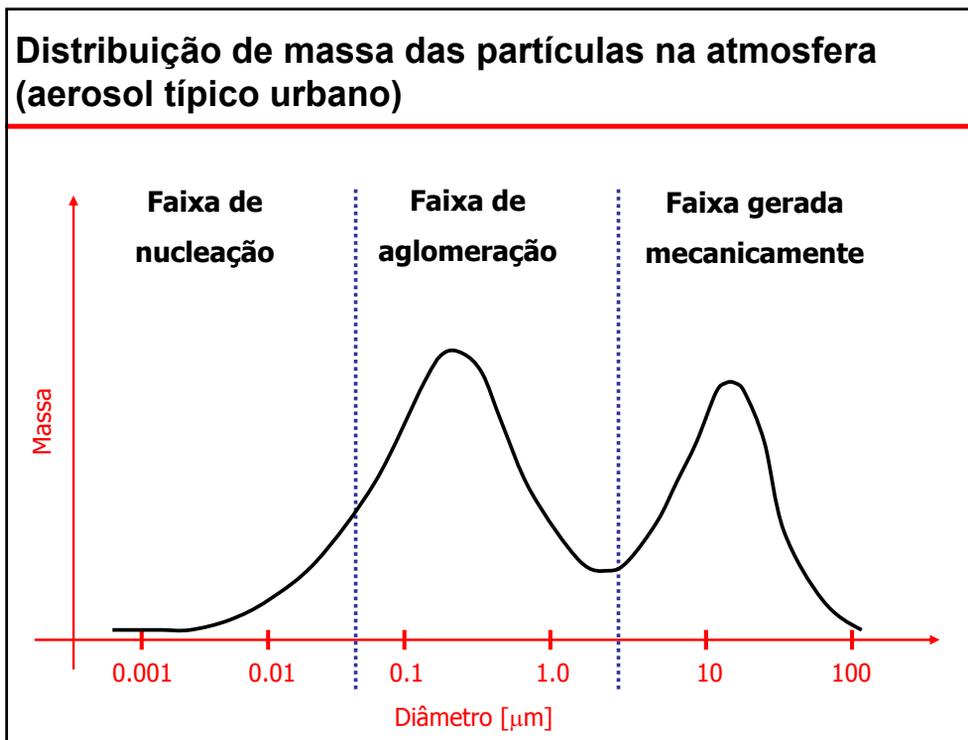
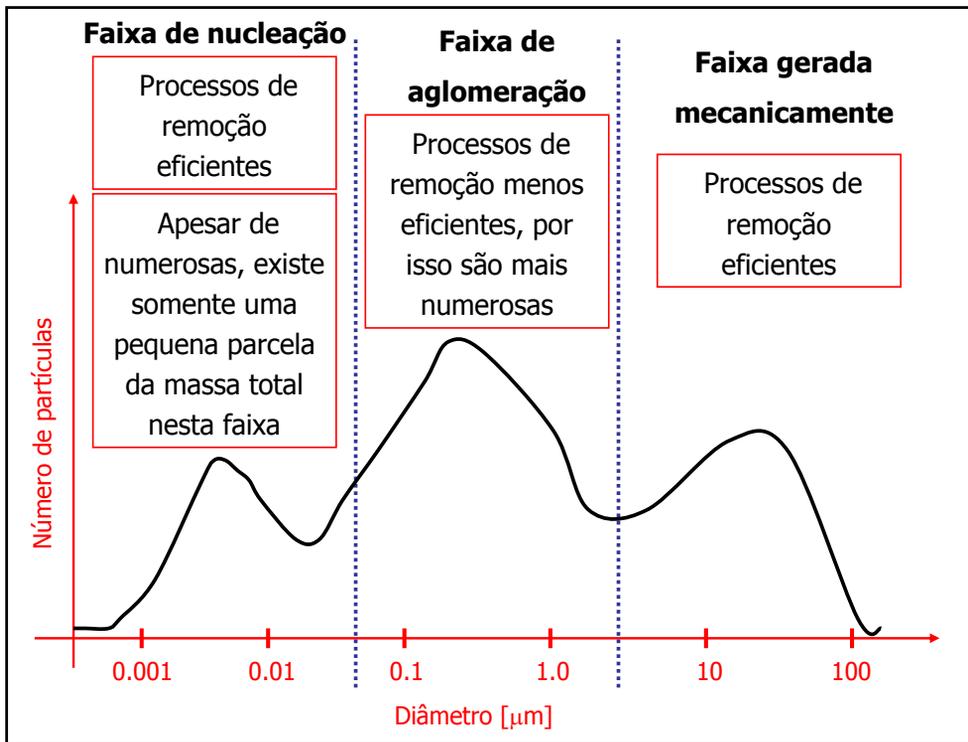
- PTS (partículas totais em suspensão)
- PM<sub>10</sub> (partículas inaláveis)
- Fumaça

## Caracterização do tamanho das partículas na atmosfera

---







## Efeito dos Materiais Particulados

---

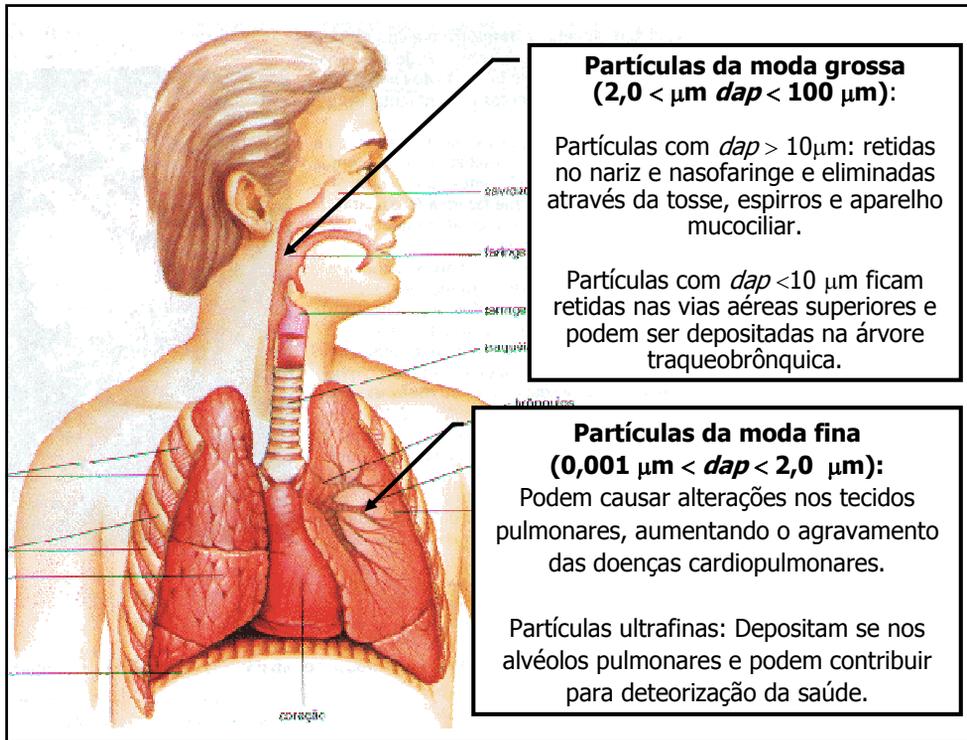
- Aumentam o risco de ocorrência de doenças respiratórias crônicas e crises agudas respiratórias.
- Efeito sobre a visibilidade e o clima.

## Poluentes Particulados e os Efeitos na Saúde

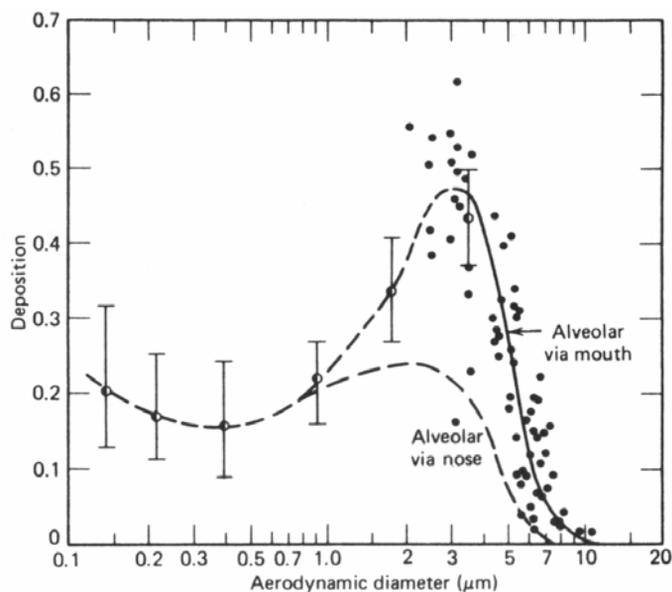
---

- Até a década de 70 : EFEITOS SIGNIFICATIVOS somente associados às ALTAS CONCENTRAÇÕES de Poluentes particulados Atmosféricos.
- ENTRE 1989-1992 : Vários estudos constataam efeitos mesmo em BAIXAS CONCENTRAÇÕES:

EXPOSIÇÃO PROLONGADA PODE SER PIOR !!!



### Deposição de Partículas na Região dos Alvéolos Respiração Bucal vs. Nasal



## Efeito dos Materiais Particulados

- Aumentam o risco de ocorrência de doenças respiratórias crônicas e crises agudas respiratórias.
- Efeito sobre a visibilidade e o clima.

### REDUÇÃO DA VISIBILIDADE



#### Bacia Amazônica

Dia limpo

Visibilidade ~ ??? km

CCN ~ 50 – 200  $\text{cm}^{-3}$

BC ~ 0,1 – 0,2  $\text{mg m}^{-3}$



Dia poluído

Visibilidade ~ 800 m

CCN ~ 3000 – 6000  $\text{cm}^{-3}$

BC ~ 7 – 20  $\text{mg m}^{-3}$

Source: Artaxo, 2002.

## Ji-Paraná – Rondônia



Dia limpo



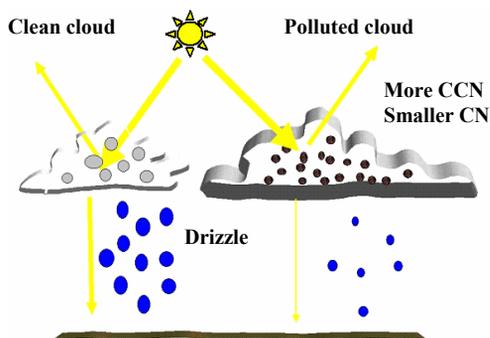
Dia poluído

Source: Procópio, 2003

## EFEITO INDIRETO DOS AEROSSÓIS

Os aerossóis atmosféricos podem agir como CCN (*cloud condensation nuclei*) durante o processo de formação das nuvens.

Mudanças na micro-física, micro-química e propriedades ópticas das nuvens.



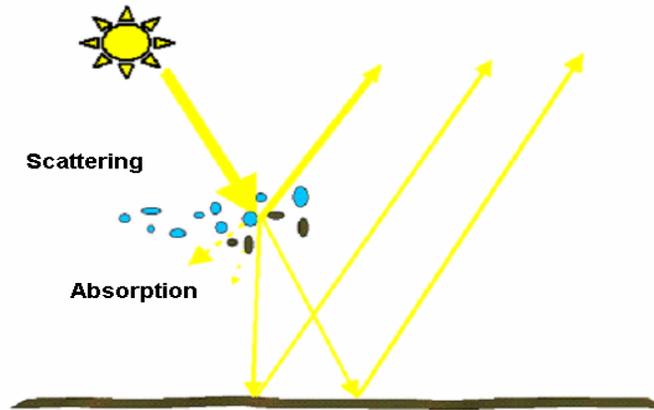
### Primeiro Efeito Indireto

Redução no raio das gotículas de nuvens + mais gotículas = aumento no albedo (Twomey, 1977).

### Segundo Efeito Indireto

Redução na precipitação  
Aumento na cobertura de nuvens  
Aumento no tempo de residência (IPCC, 2001).

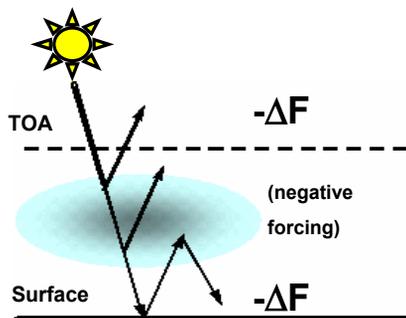
## EFEITO DIRETO DOS AEROSSÓIS



Espalhamento e absorção da radiação de onda curta e de onda longa.

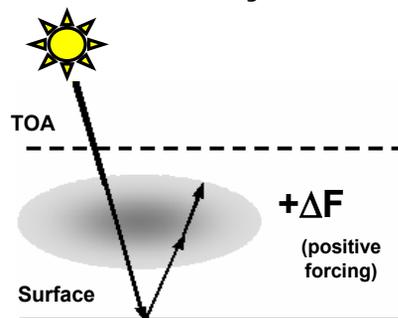
## EFEITO DIRETO DOS AEROSSÓIS

### Espalhamento



Ex.: Sulfatos, nitratos e orgânicos

### Absorção



Ex.: Black carbon (fuligem)

**Amazônia**  
Forçante média para céu limpo  
*Aline Procópio*

**Topo: - 10 w/m<sup>2</sup>**



**Atmosfera: + 28 w/m<sup>2</sup>**

**Superfície: - 38 w/m<sup>2</sup>**

*superfície: vegetação*  
AOT ( $\tau=0.95$  em 500nm); média 24 horas  
7 anos (93-95, 99-02 Ago-Out)

**INDOEX**  
Forçante média para céu limpo  
*Ramanathan, 2000*

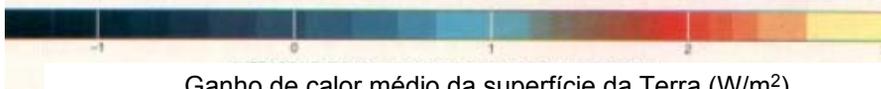
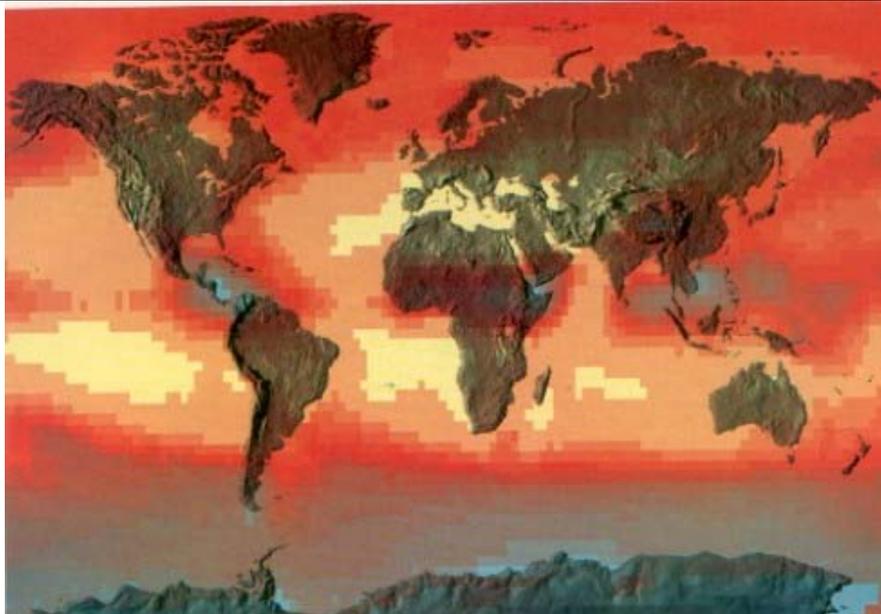
**Topo: - 7±1 w/m<sup>2</sup>**



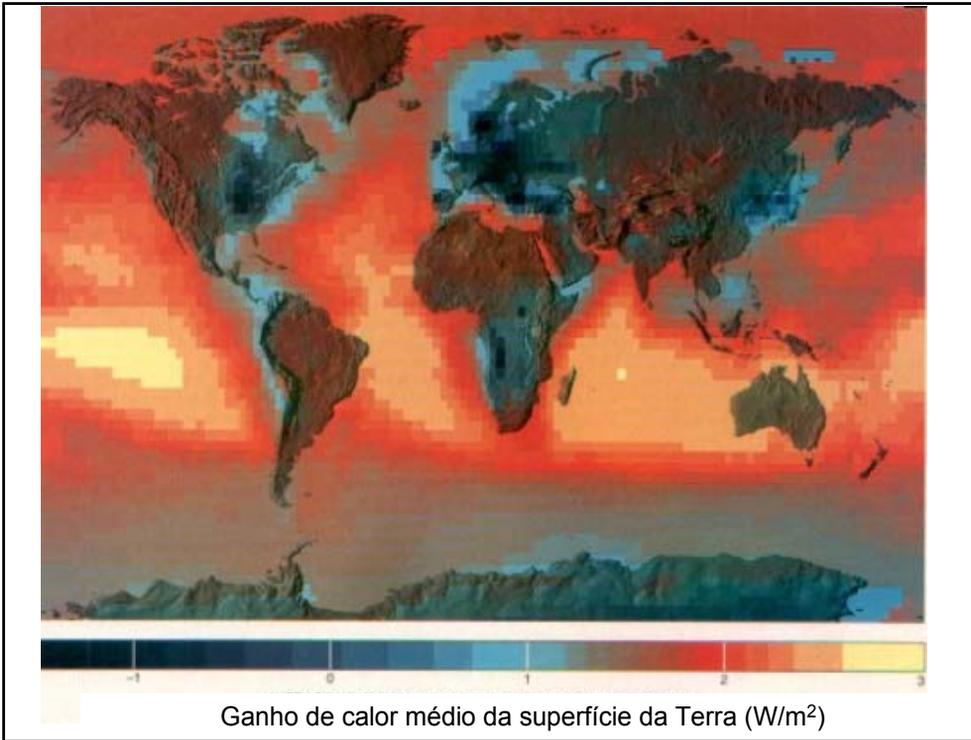
**Atmosfera: + 16±2 w/m<sup>2</sup>**

**Superfície: - 23±2 w/m<sup>2</sup>**

*superfície: oceano*  
AOT ( $\tau=0.3$  em 630 nm); média 24 horas  
Jan-Mar 99

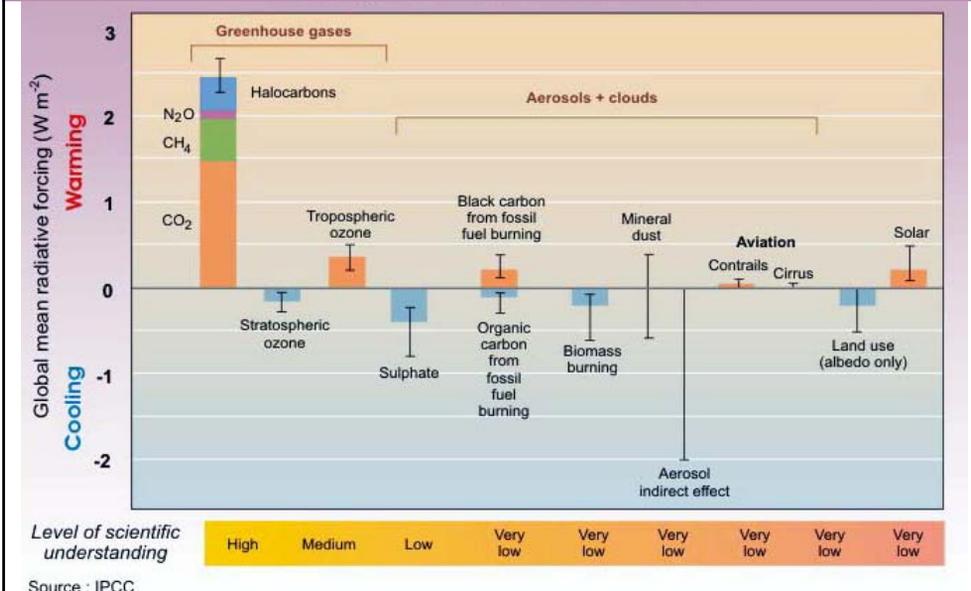


Ganho de calor médio da superfície da Terra (W/m<sup>2</sup>)



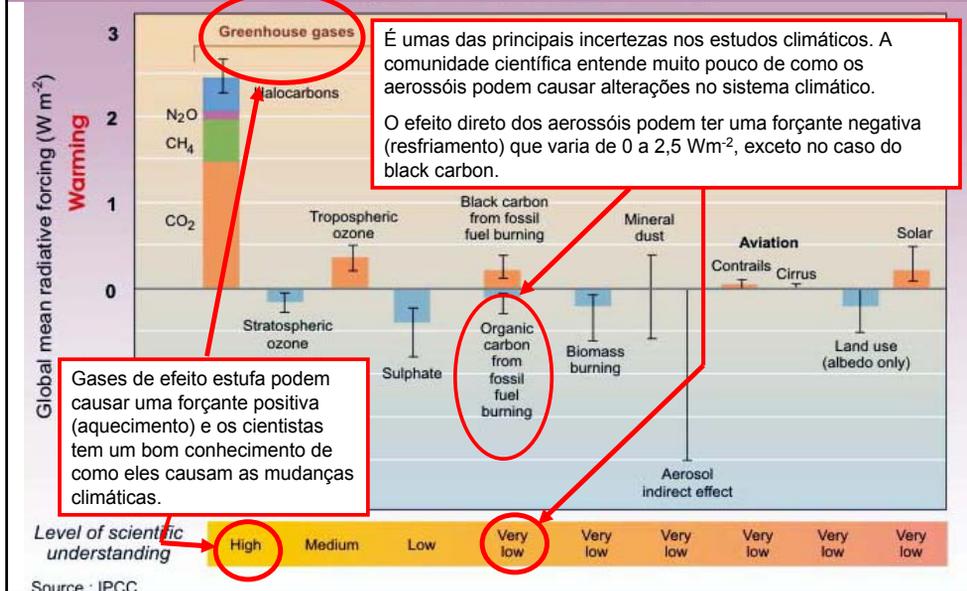
## EFETOS CLIMÁTICOS DOS AEROSSÓIS

Forçantes naturais e Antropogênicos para alteração do clima  
(Importancia relativa dos efeitos no ano de 2000 em relação a 1750)



## EFEITOS CLIMÁTICOS DOS AEROSSÓIS

Forçantes naturais e Antropogênicos para alteração do clima  
(Importancia relativa dos efeitos no ano de 2000 em relação a 1750)



É umas das principais incertezas nos estudos climáticos. A comunidade científica entende muito pouco de como os aerossóis podem causar alterações no sistema climático.

O efeito direto dos aerossóis podem ter uma forçante negativa (resfriamento) que varia de 0 a  $2,5 W m^{-2}$ , exceto no caso do black carbon.

Gases de efeito estufa podem causar uma forçante positiva (aquecimento) e os cientistas tem um bom conhecimento de como eles causam as mudanças climáticas.

## Sumário dos principais poluentes do ar e suas fontes

Modalidades de Fontes		Tipos de Fontes		Poluentes
Antropogênicas	FIXAS	Processos Industriais		MP, SOx, NOx, CO, HC
		Caldeiras, Fornos e Aquecedores		MP, SOx, NOx, CO, HC
		Construção Civil		MP
		Queima ao Ar Livre e Queimadas		MP, SOx, NOx, CO, HC, Fumaça
		Exploração, Beneficiamento, Movimentação e Estocagem de Materiais Fragmentados		MP
	MÓVEIS	Tipo de Veículo/Fonte	Tipo de Combustível	
		Avião	Gasolina de aviação e/ou querosene	NOx, HC, MP
		Navios e Barcos	Diesel / Óleo Combustível	MP, SOx, NOx, CO, HC
Caminhão e Ônibus		Diesel	MP, SOx, NOx, CO, HC	
	Automóveis e Motocicletas	Gasolina / Álcool	MP, NOx, CO, HC, Aldeídos	
Naturais	Tipos de Fontes			
	Oceânica		MP	
	Decomposição Biológica		SOx, H <sub>2</sub> S, HC, Compostos de Enxofre	
	Praias e Dunas		MP	
	Queimadas		MP, SOx, NOx, CO, HC	
Erosão Eólica do Solo e Superfícies		MP		

SOx - Óxidos de Enxofre; NOx - Óxidos de Nitrogênio; CO - Monóxido de Carbono; HC - Hidrocarbonetos; MP - Material Particulado e H<sub>2</sub>S - Ácido Sulfídrico