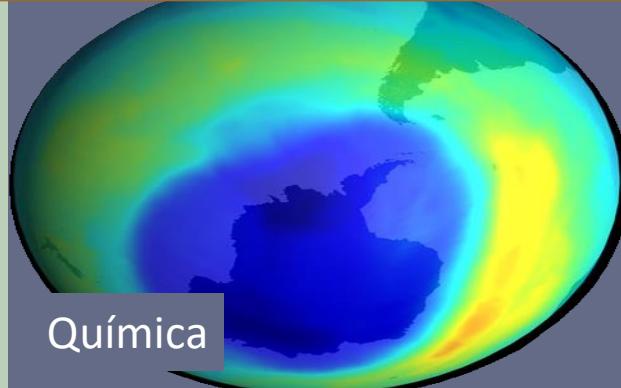


Aerossóis Atmosféricos

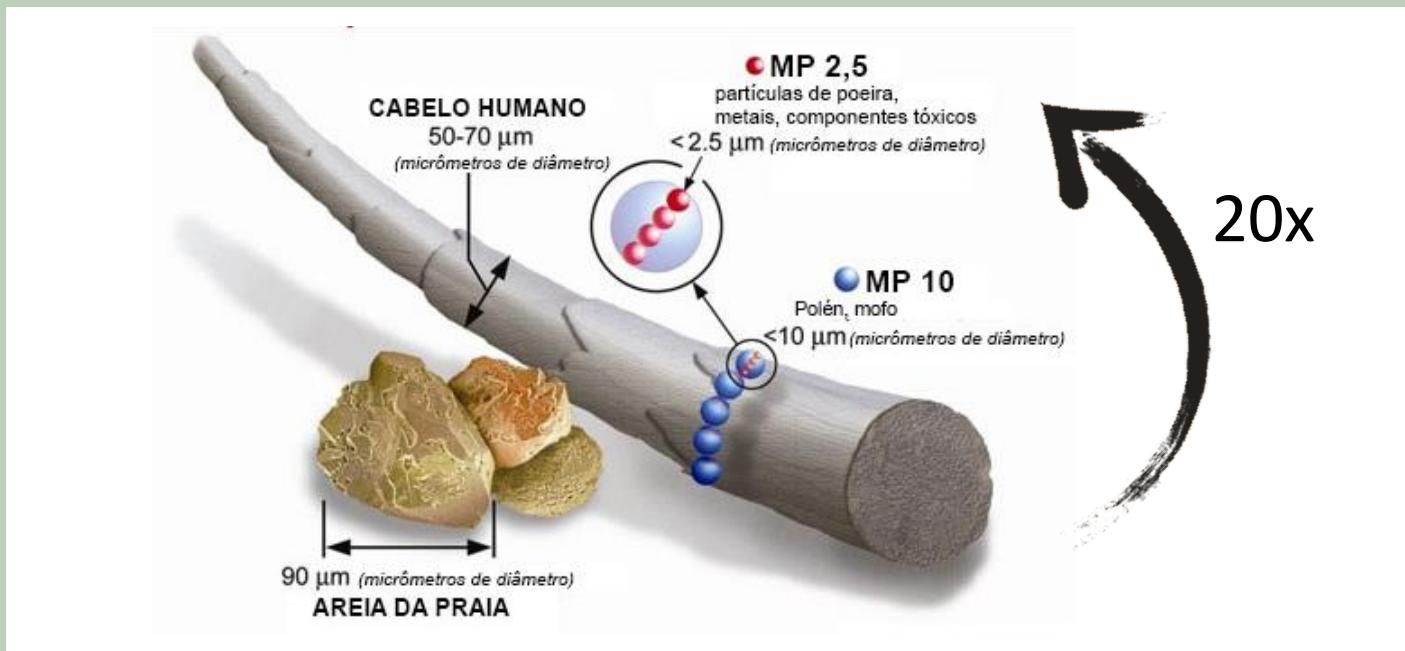
PROF. DR. MARCO AURÉLIO DE MENEZES FRANCO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
IAG-USP

<http://marcomac27.github.io>
marco.franco@usp.br

IMPORTÂNCIA DOS AEROSSÓIS ATMOSFÉRICOS

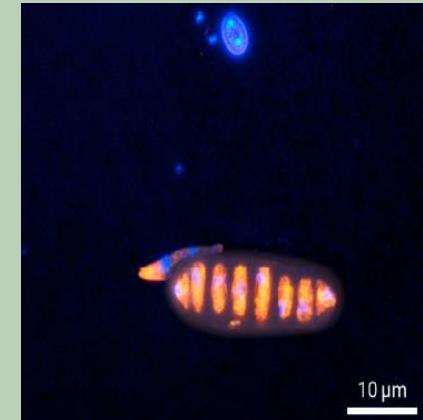


TAMANHO MÉDIO DAS PARTÍCULAS

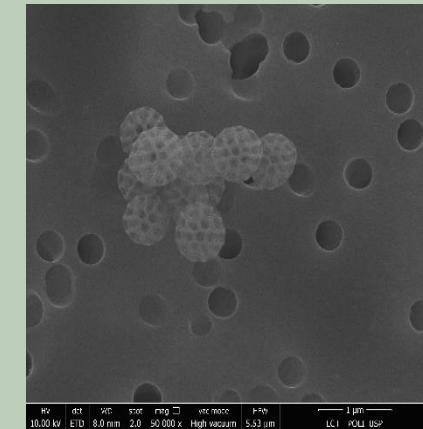


Aerossóis atmosféricos

- **Aerossol:** partículas sólidas ou líquidas em suspensão na atmosfera;
- Apresentam diferentes tamanhos, formas, composições e propriedades físico-químicas;
- Concentração variável na atmosfera: horas a semanas;
- Podem ser **primários** (ex: poeira, bactéria, fragmentos de plantas) ou **secundários** (transformação de gás para partícula, 75%);

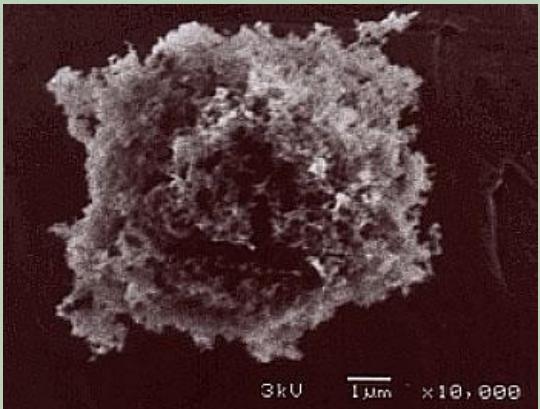


Prass et al., 2021

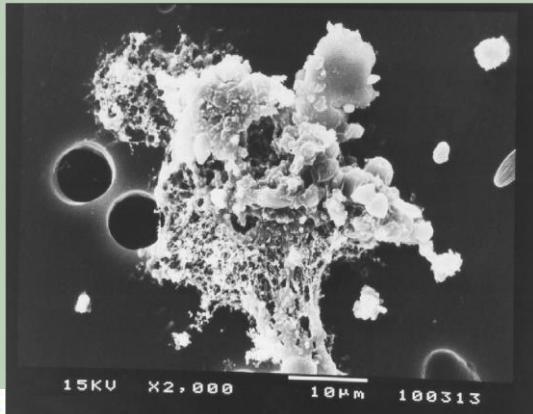
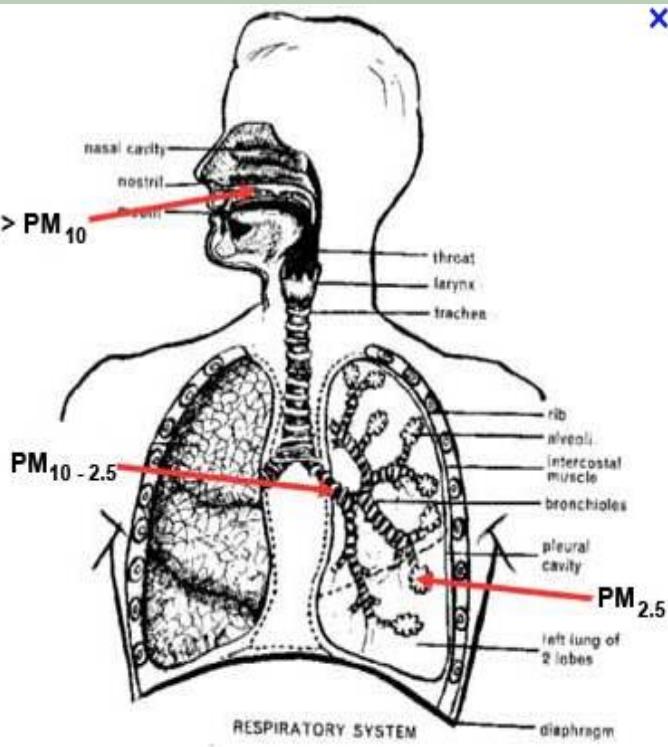


Morais et al., in prep.

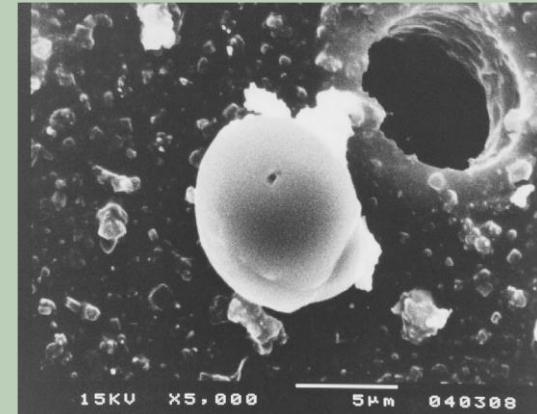
Material Particulado MP₁₀ e MP_{2,5}



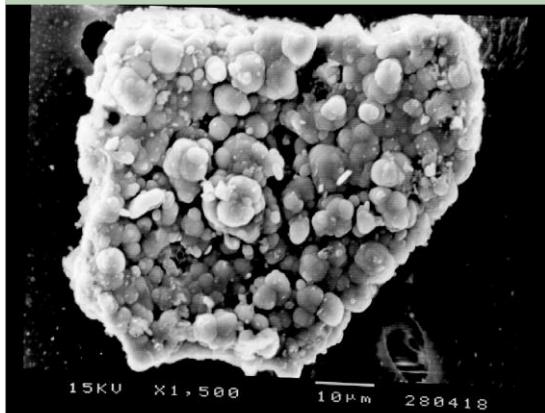
Black Carbon



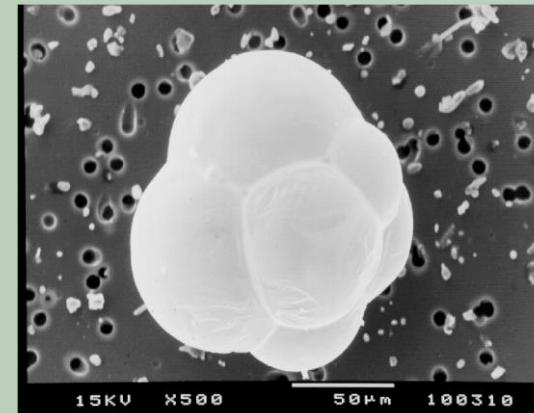
Aluminosilicato



Sulfato



Cloreto



Biogênica

Composição de partículas individuais

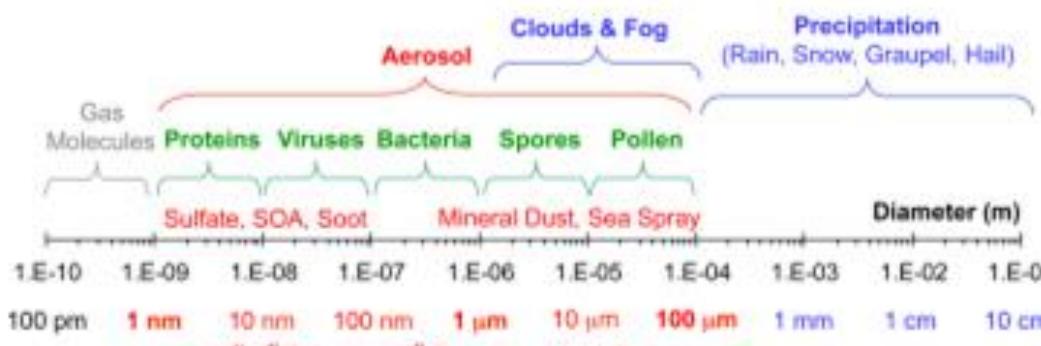
(a)
Aerosols: solid & liquid nano- & micro-particles



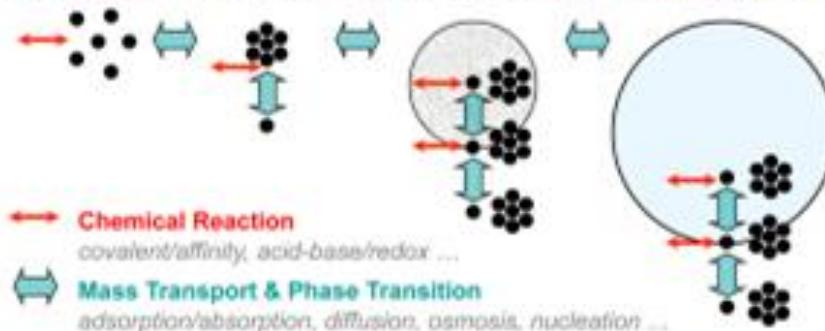
Clouds, Fog & Precipitation: dilute aqueous particles



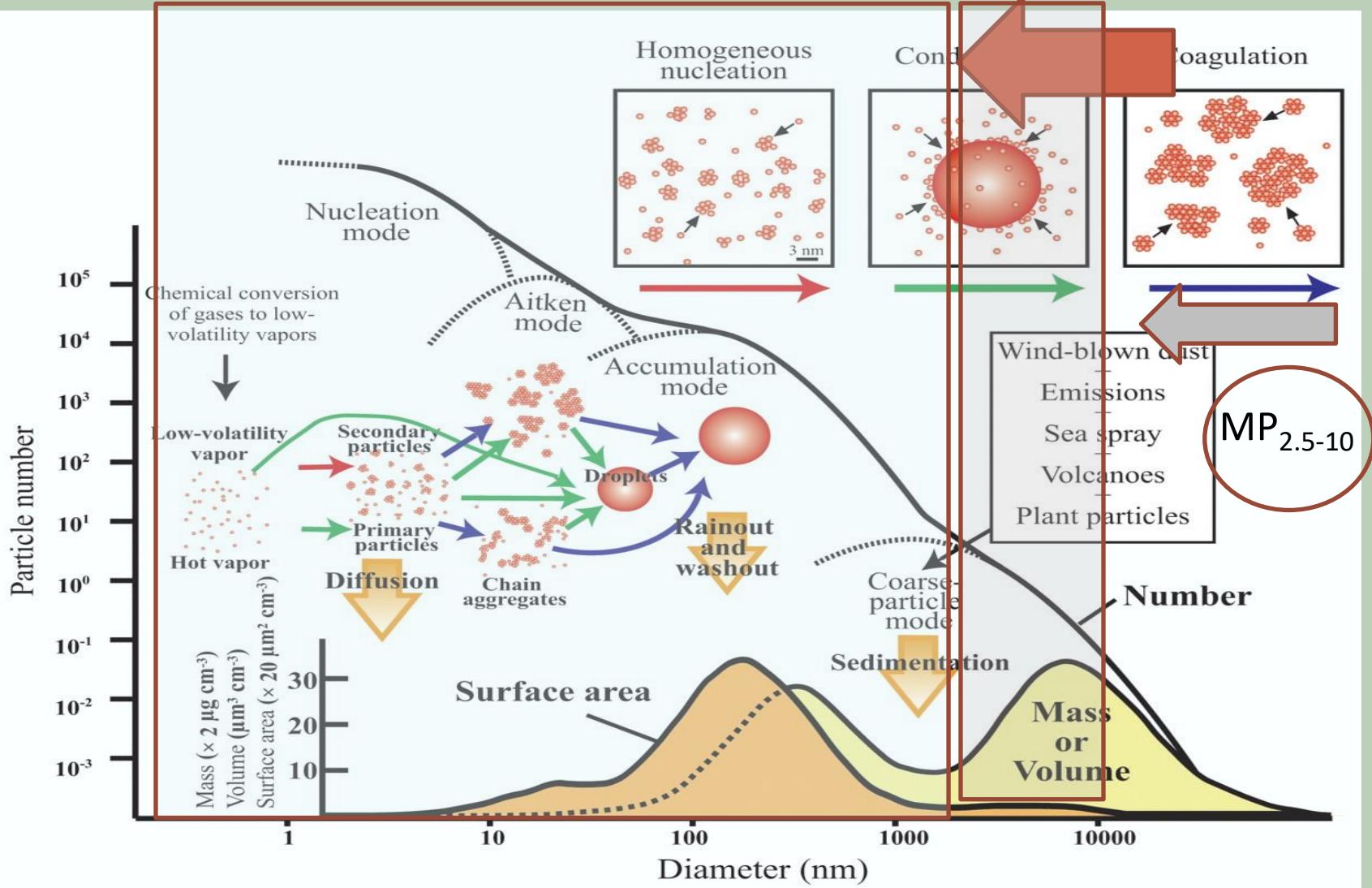
Cells & Organelles: semi-solid & liquid nano- & micro-particles



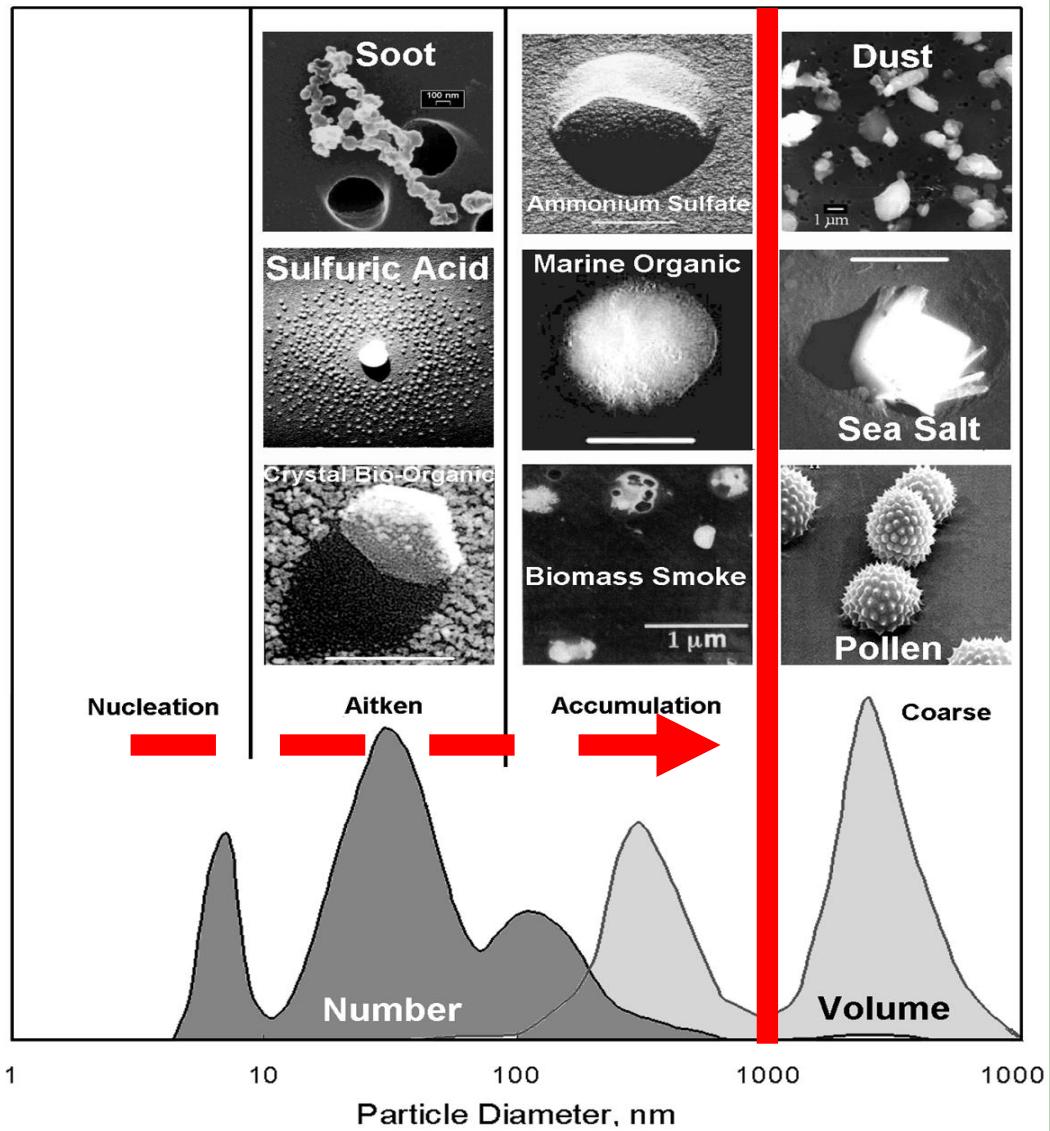
(b) Gas Molecules Aqueous Matrix Molecular Clusters Biopolymers Aerosol Particles Membranes, Organelles Clouds & Precipitation Cells, Microorganisms



Partículas atmosféricas e biológicas. (a) intervalo de tamanho de aerossóis, hidrometeoros, células e organelas. (b) transformação química multifase durante as interações aerossol-nuvem-precipitação na atmosfera assim como o metabolismo celular e processos na biosfera. Figura extraída de Pöschl e Shiraiwa (DOI: 10.1021/cr500487s Chem. Rev. 2015, 115, 4440-4475).



Exemplo da estrutura microscópica das Partículas de Aerossol



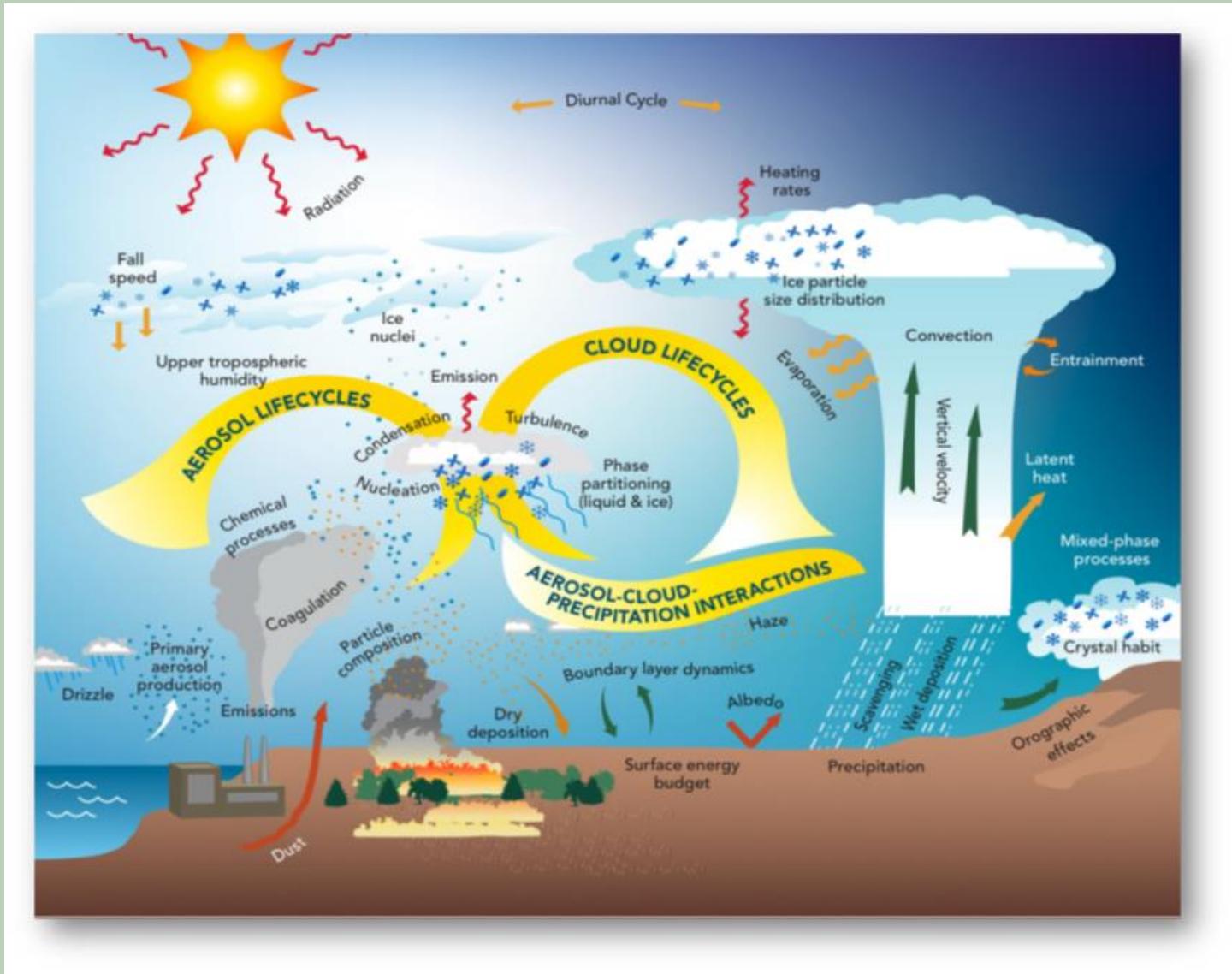
Courtesy of
U. Lohmann

Baseada na apresentação de
Guy Brasseur

Partículas Finas ($MP_{2.5}$)

Partículas Inaláveis (MP_{10})

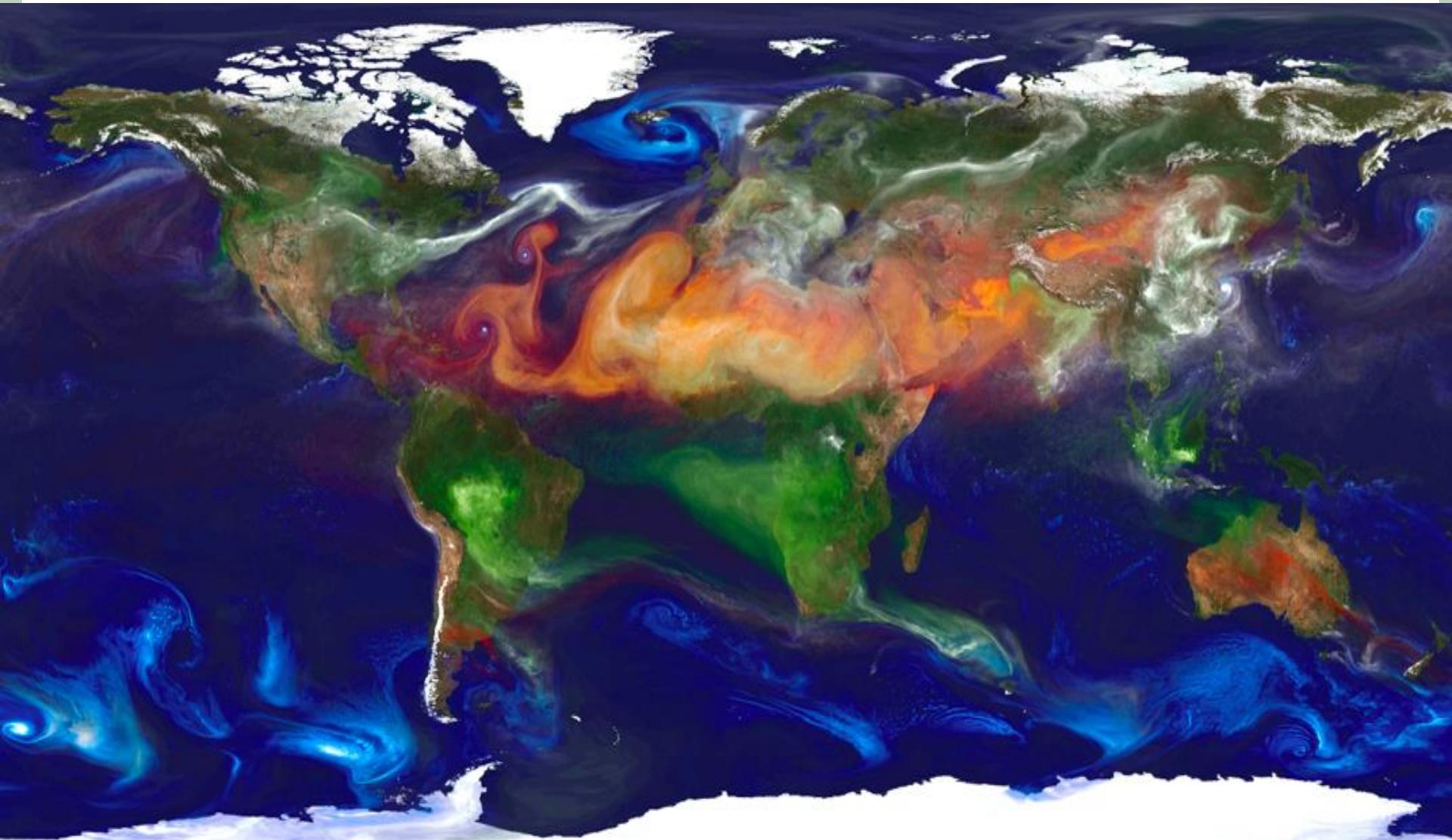
Ciclo de vida dos aerossóis



Seinfeld; Pandis, 2016

Distribuição Global de aerossóis: poeira (vermelho), sulfato (branco), fumaça de queimadas (verde), aerossol marinho (azul).

Global modeling: 10 km resolution W. Putman, NASA Goddard



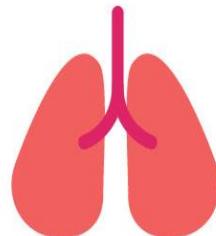
EMISSÃO DE POLUENTES



CONCENTRAÇÃO



EXPOSIÇÃO



EFEITO EM SAÚDE



COMO O MEIO AMBIENTE IMPACTA NOSSA SAÚDE

Pessoas estão expostas a fatores de risco em sua casas, locais de trabalho e comunidades onde vivem



World Health Organization

#EnvironmentalHealth



Universidade de São Paulo

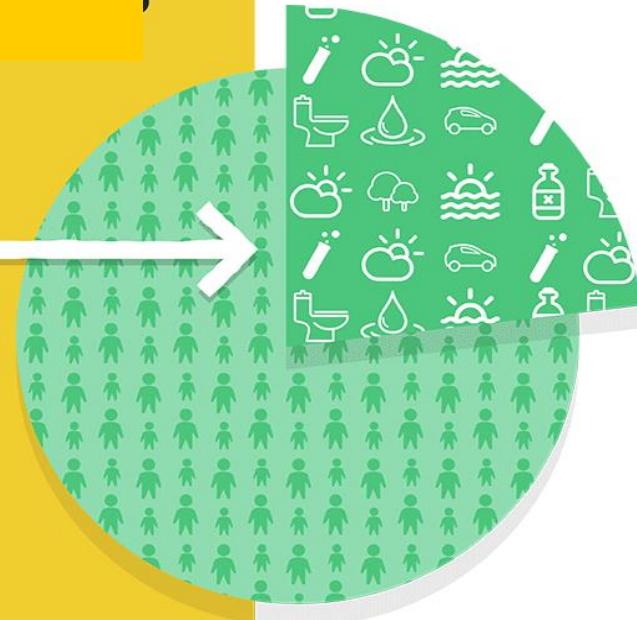
Impacto do meio ambiente na saúde Qual é o quadro geral?

FACT:

23%

de todas as mortes no globo estão relacionadas com o meio ambiente.

Aproximadamente 12,6 milhões de mortes por ano



Onde está acontecendo?



3.8 million

Região do sudeste asiático

3.5 million

Região do oeste do pacífico

2.2 million

Região da África

1.4 million

Região da Europa

854 000

Região do Mediterrâneo Oriental

847 000

Região das Américas

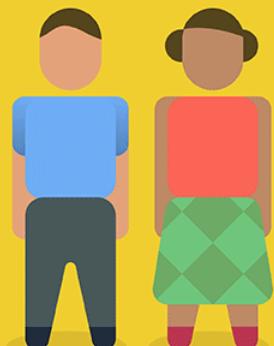


World Health Organization
#EnvironmentalHealth

Quem é mais impactado pelo ambiente?

Impactos do ambiente sobre a saúde são desiguais ao longo da idade e afetam principalmente os pobres.

Países de baixa e média-renda enfrentam maiores problemas de doenças ambientais



Homens

São geralmente mais afetados devido aos riscos ocupacionais e lesões

Mulheres

Estão geralmente mais expostas a riscos de ambientes internos causados por fumaça de atividades de cozinhar ou carregando água

Crianças abaixo de cinco anos e adultos entre 50 e 75 anos são mais afetadas pelo meio ambiente



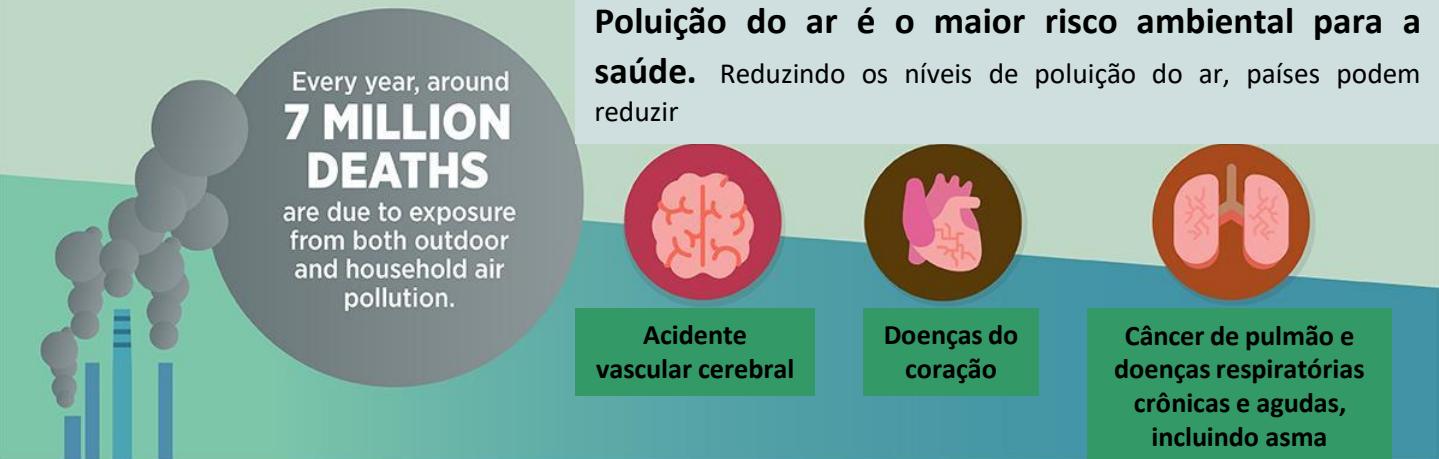
Anualmente

4,9 milhões
Mortes em adultos
entre 50 e 75 anos.

1,7 milhões
Mortes em crianças
Abaixo de cinco anos.

 World Health Organization
#EnvironmentalHealth

POLUIÇÃO DO AR – O ASSASSINO SILENCIOSO



ESTIMATIVAS REGIONAIS DA OMS:



CLEAN AIR FOR HEALTH

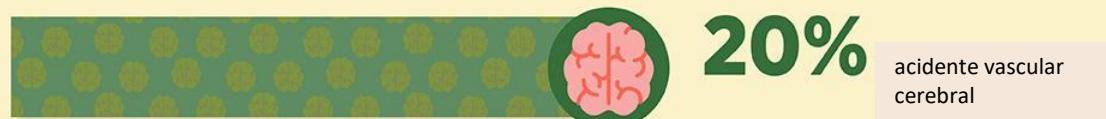
#AirPollution



MORTES ASSOCIADAS COM A POLUIÇÃO DO AR EXTERNA E DOMÉSTICA



7 MILHOES DE PESSOAS MORREM
PREMATURAMENTE A CADA ANO PELA POLUIÇÃO DO
AR — ambas externa e doméstica
Dentre as mortes:



CLEAN AIR FOR HEALTH

#AirPollution

 World Health Organization


Universidade de São Paulo

QUAIS SÃO AS FONTES DE POLUIÇÃO DO AR?

Poluição do ar afeta áreas urbanas e rurais e é causada por múltiplos fatores



CLEAN AIR FOR HEALTH

#AirPollution

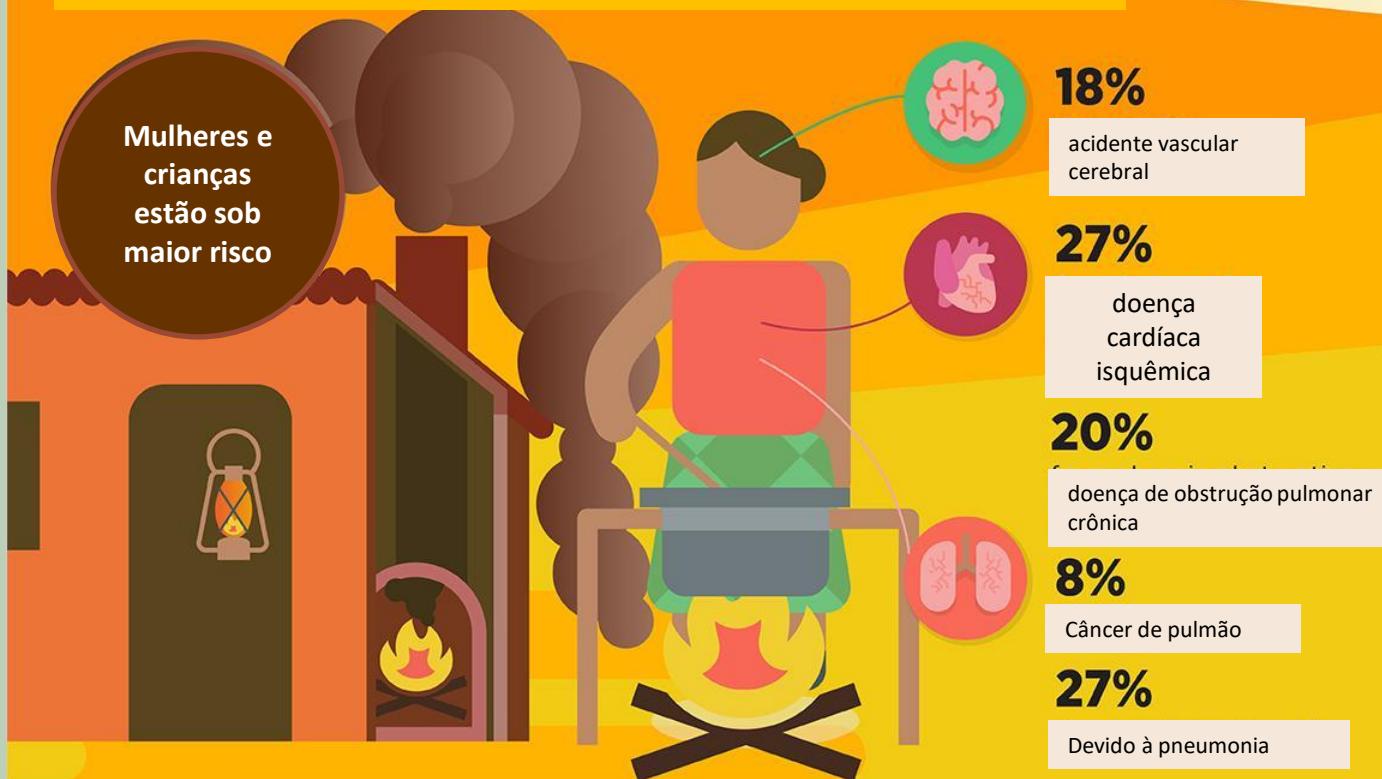
World Health Organization

USP
Universidade de São Paulo

POLUIÇÃO DO AR DOMÉSTICO

3,8 MILHÕES

Morrem prematuramente a cada ano pela poluição do ar doméstico pela atividade de cozinhar alimentos (2016). A poluição do ar doméstico é causada pelo uso de querosene e combustíveis sólidos como a madeira em fornos, fogos abertos e lampiões.



CLEAN AIR FOR HEALTH

#AirPollution

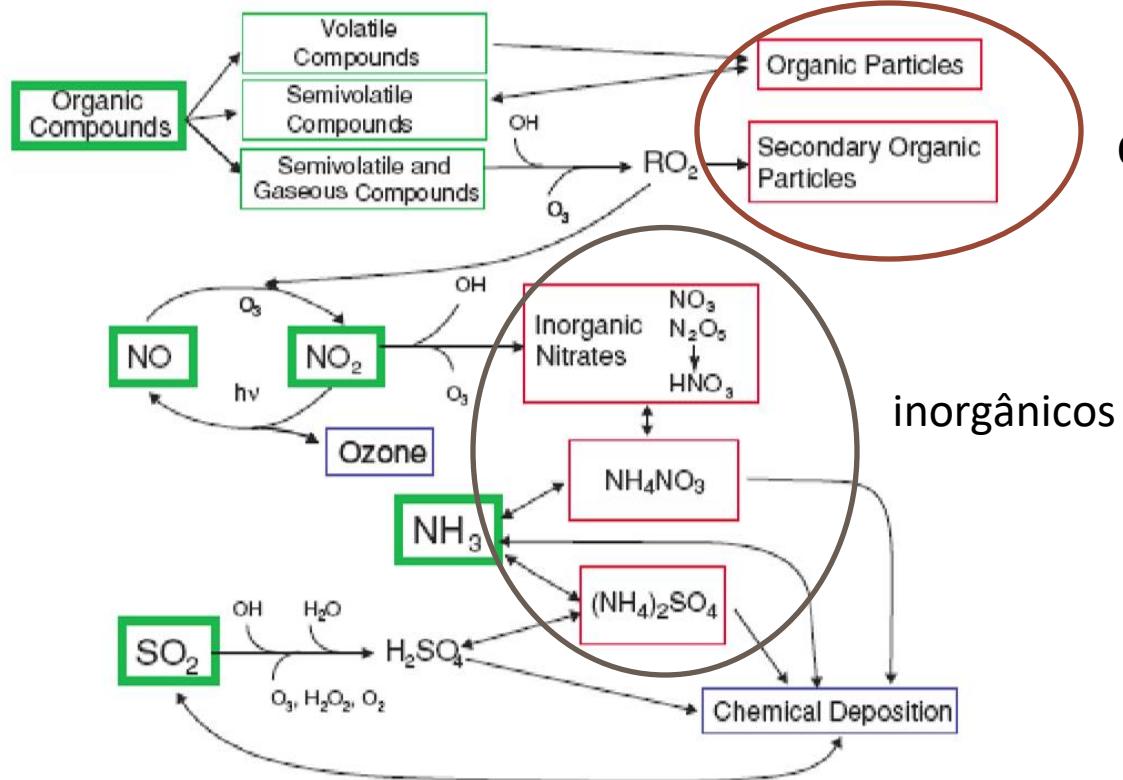


USP
Universidade de São Paulo

Caracterização da Problemática

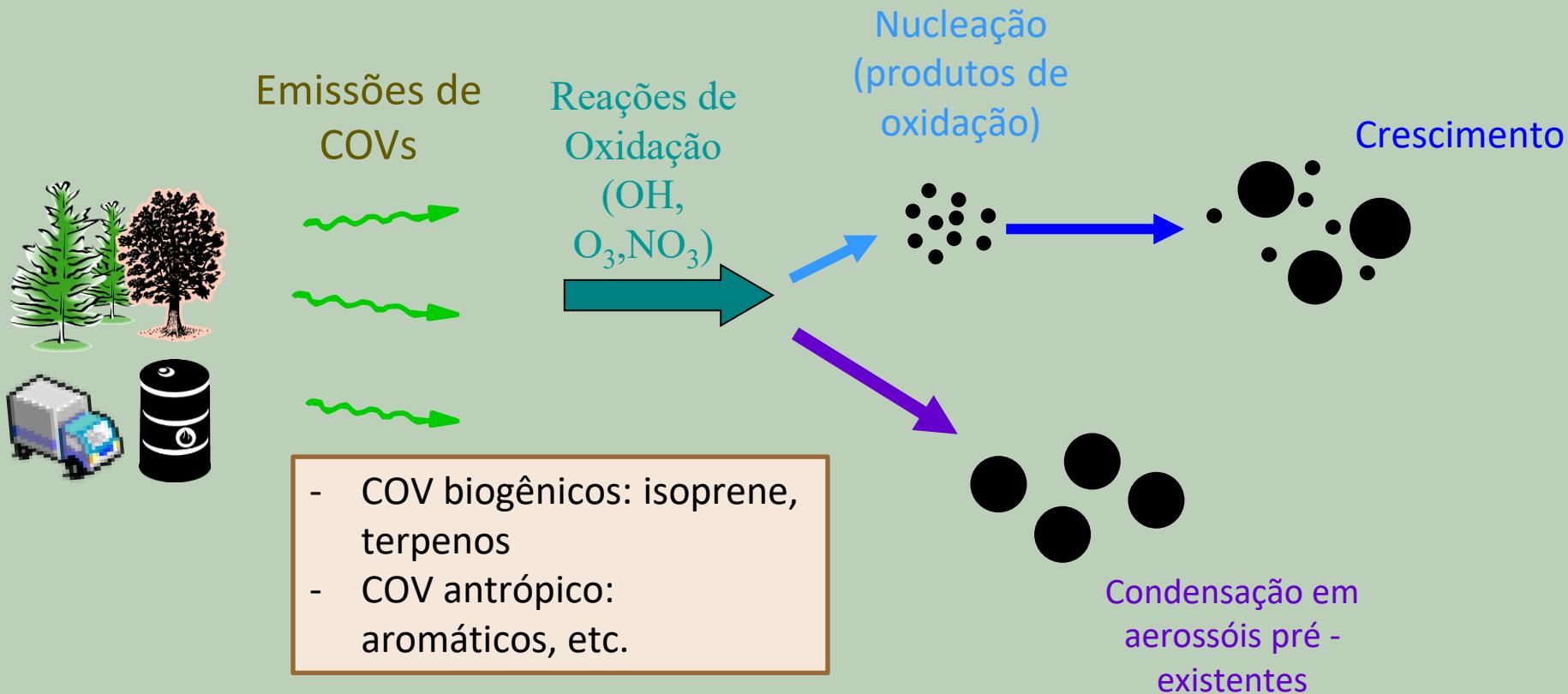


Formação de Aerossóis Secundários



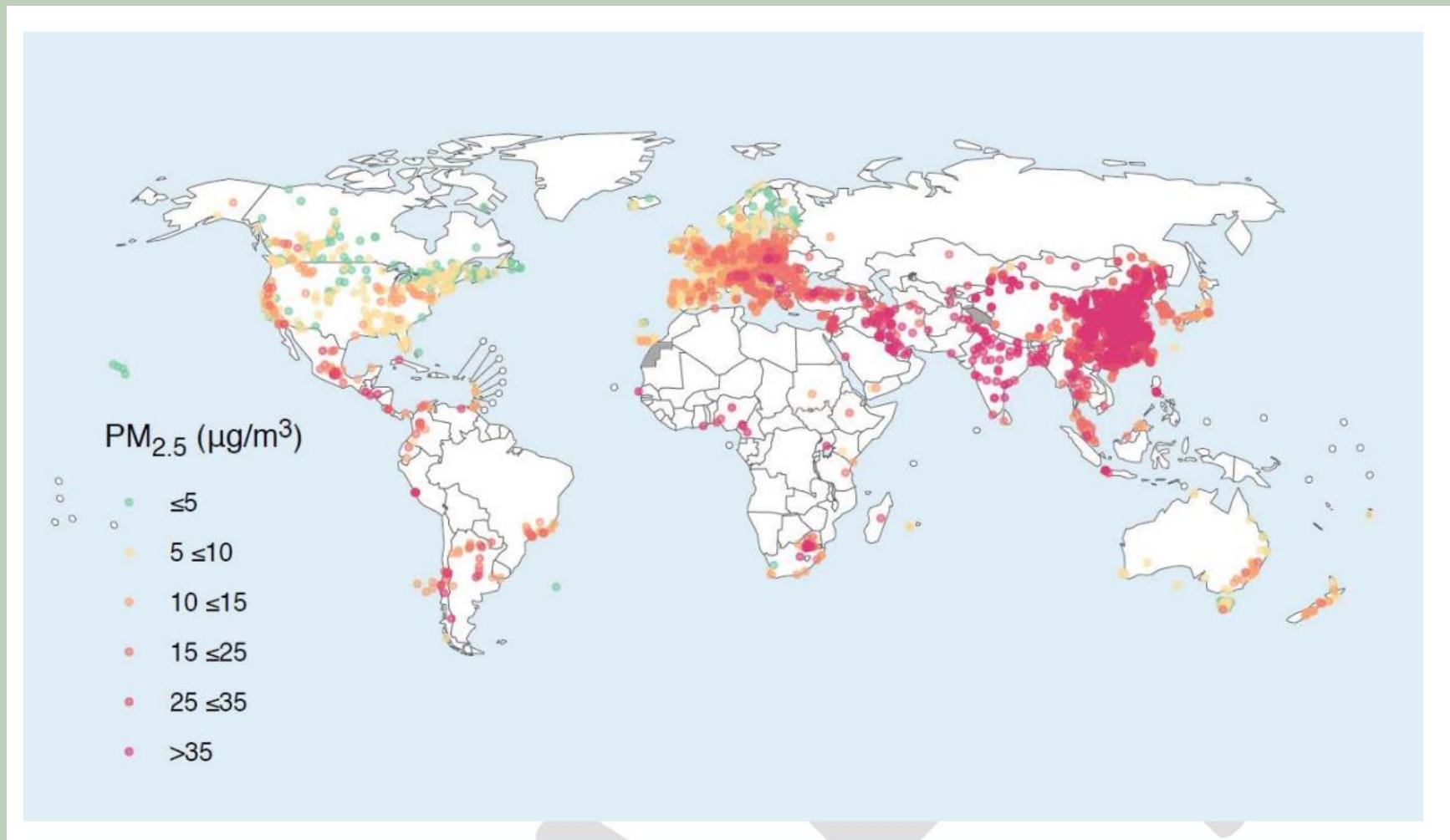
Formação de ozônio e aerossóis secundários

Produção de Aerossol orgânico Secundário



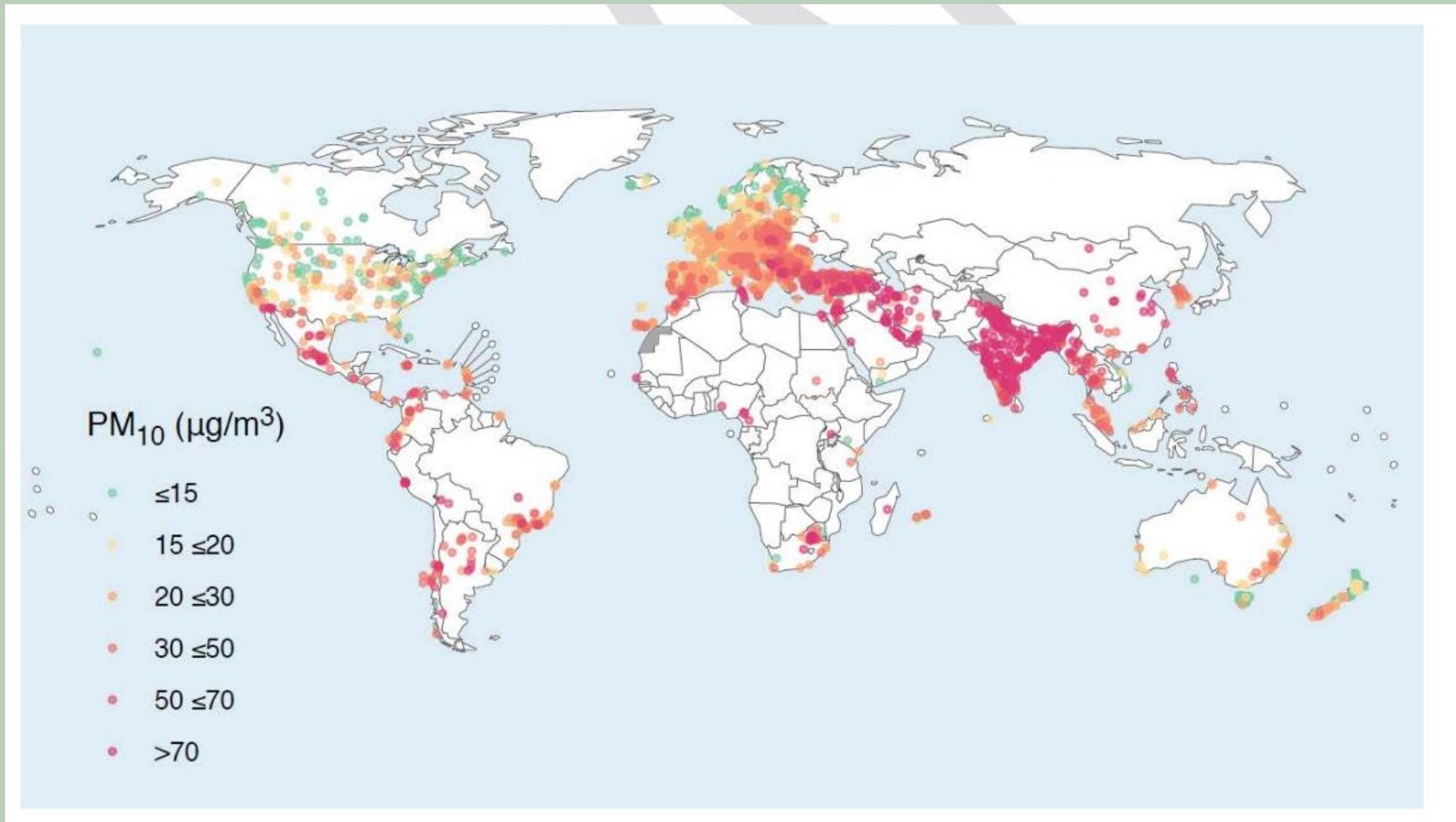
Mais de 500 reações são utilizadas para descrever a formação dos precursores de SOA, ozônio e outros poluentes fotoquímicos [Chen & Griffin, 2005]

Locations of settlements with data on PM_{2.5} concentrations, 2010–2019



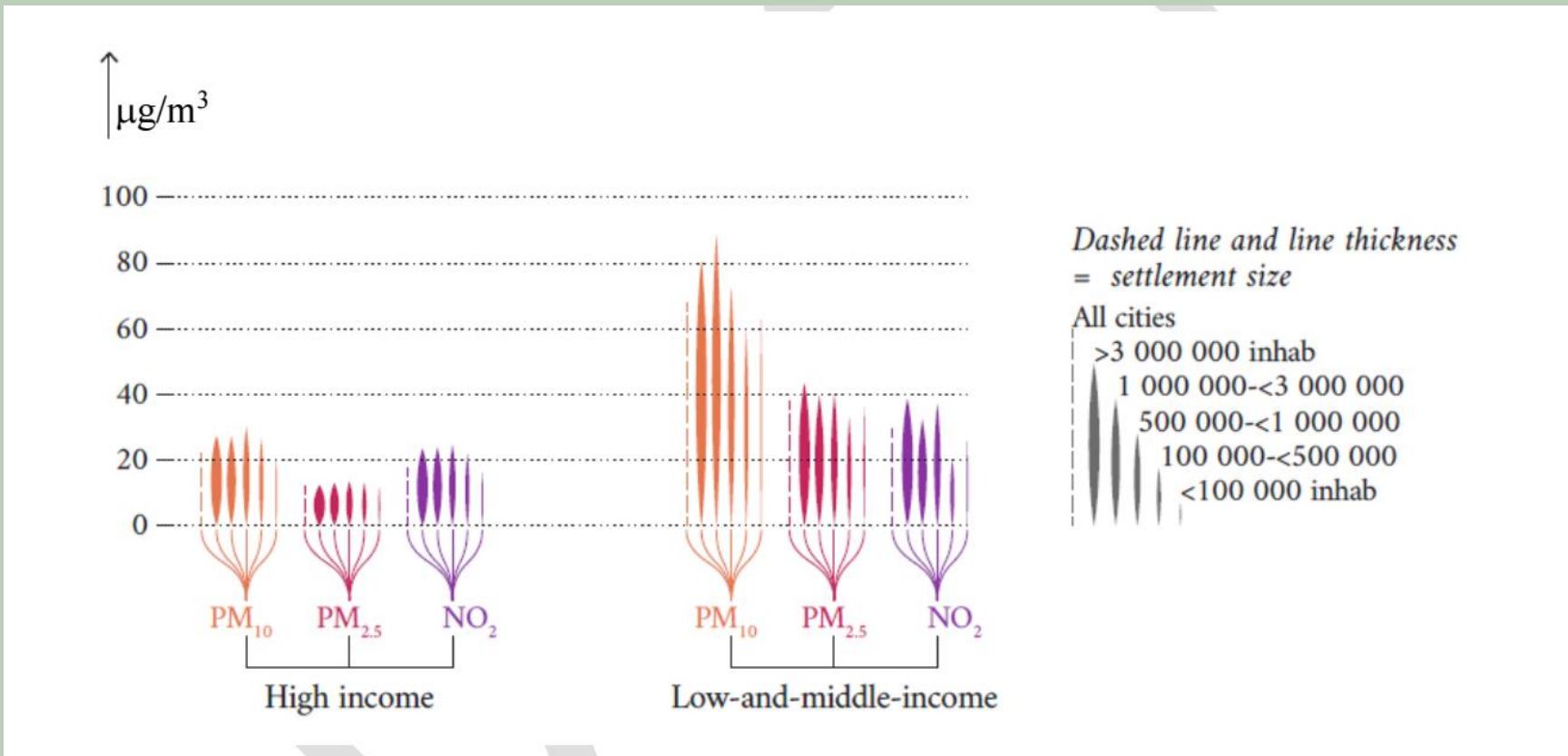
WMO, 2022

Locations of settlements with data on PM10 concentrations, 2010–2019



WMO, 2022

PM10 , PM2.5 and NO₂ annual means by income level and settlement size, for settlements for which data were available in the latest year between 2010 and 2019



Fontes de aerossóis atmosféricos



Tempestade de areia

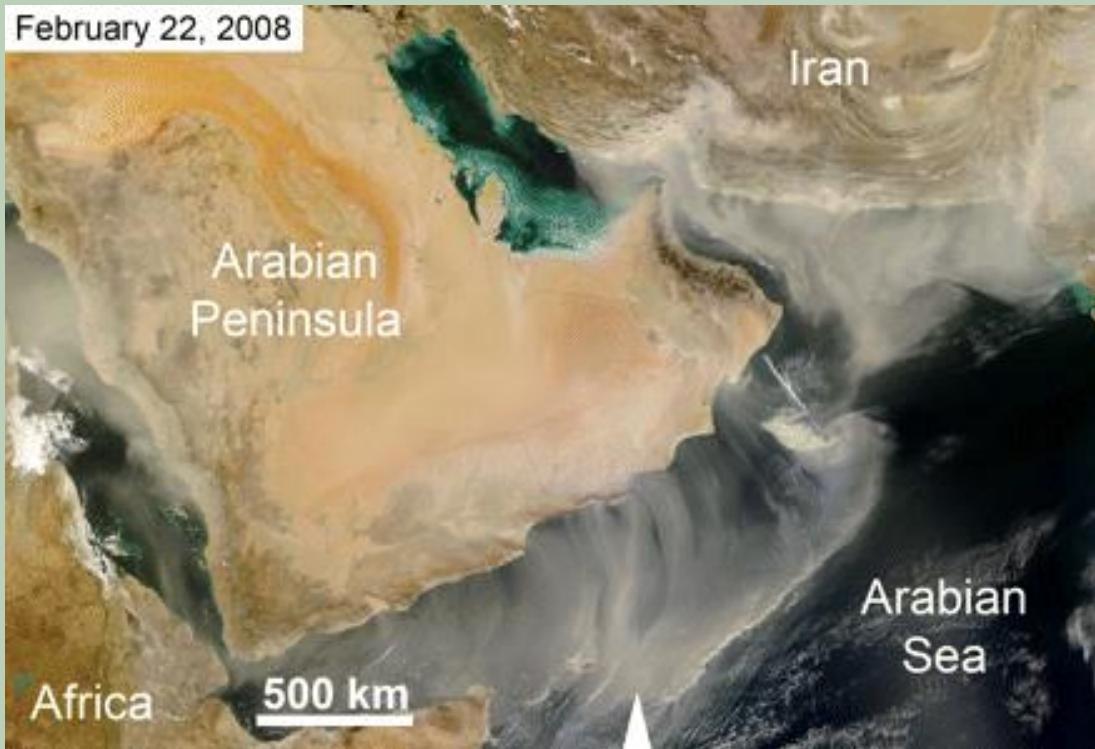


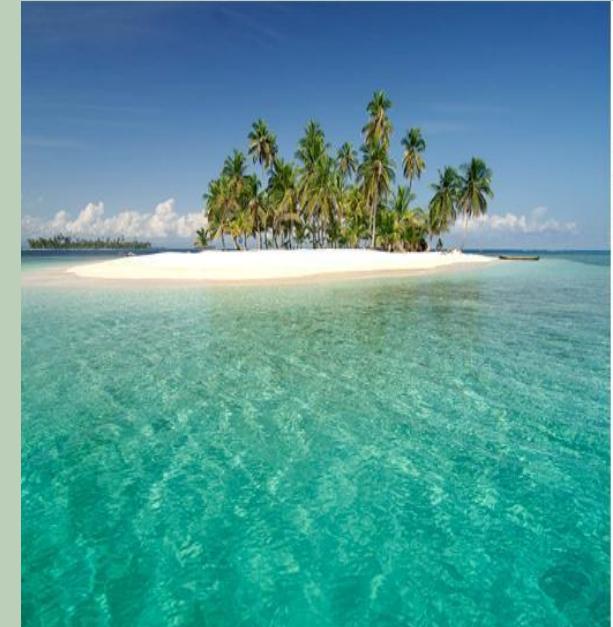
Imagen de satélite de uma tempestade de areia, gerada por ventos de noroeste, extendendo-se desde a África até a Índia.



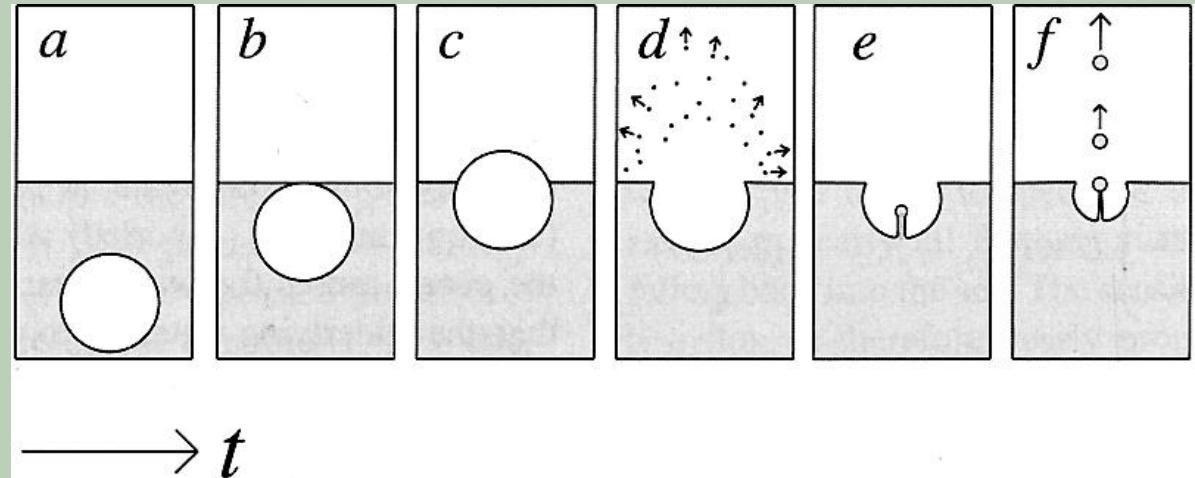
Imagen NASA

Engelbrecht, J., et al September 02, 2010 (*Elements*)

Aerossóis marinhos



Produção de
aerossol marinho
por quebras de
gotas



Eric S. Saltzman
Earth System Science

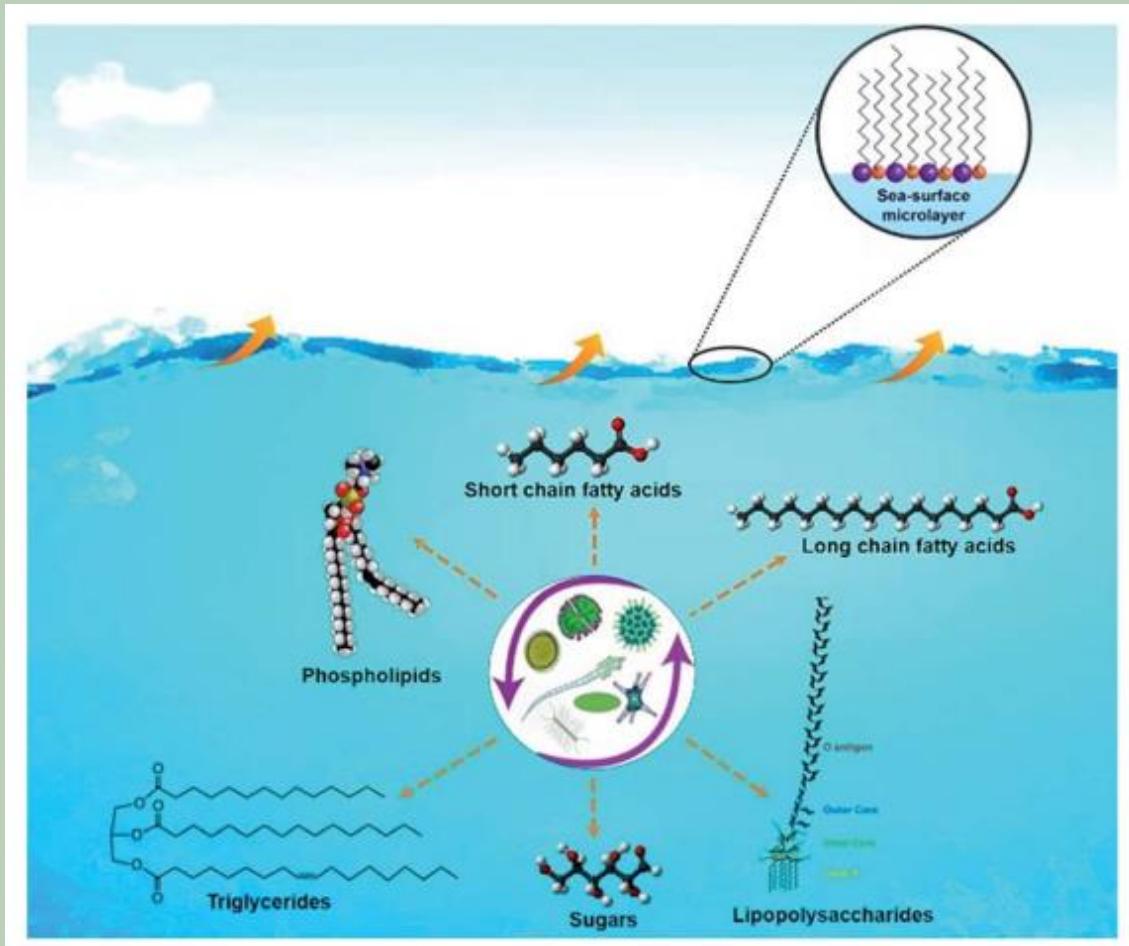


Figura 5 – Os processos biológicos, químicos e físicos no oceano afetam a composição química do aerossol atmosférico de origem do spray marinho. Figura extraída de Estillor et al., Chem. Sci., 2016, 7, 6604.

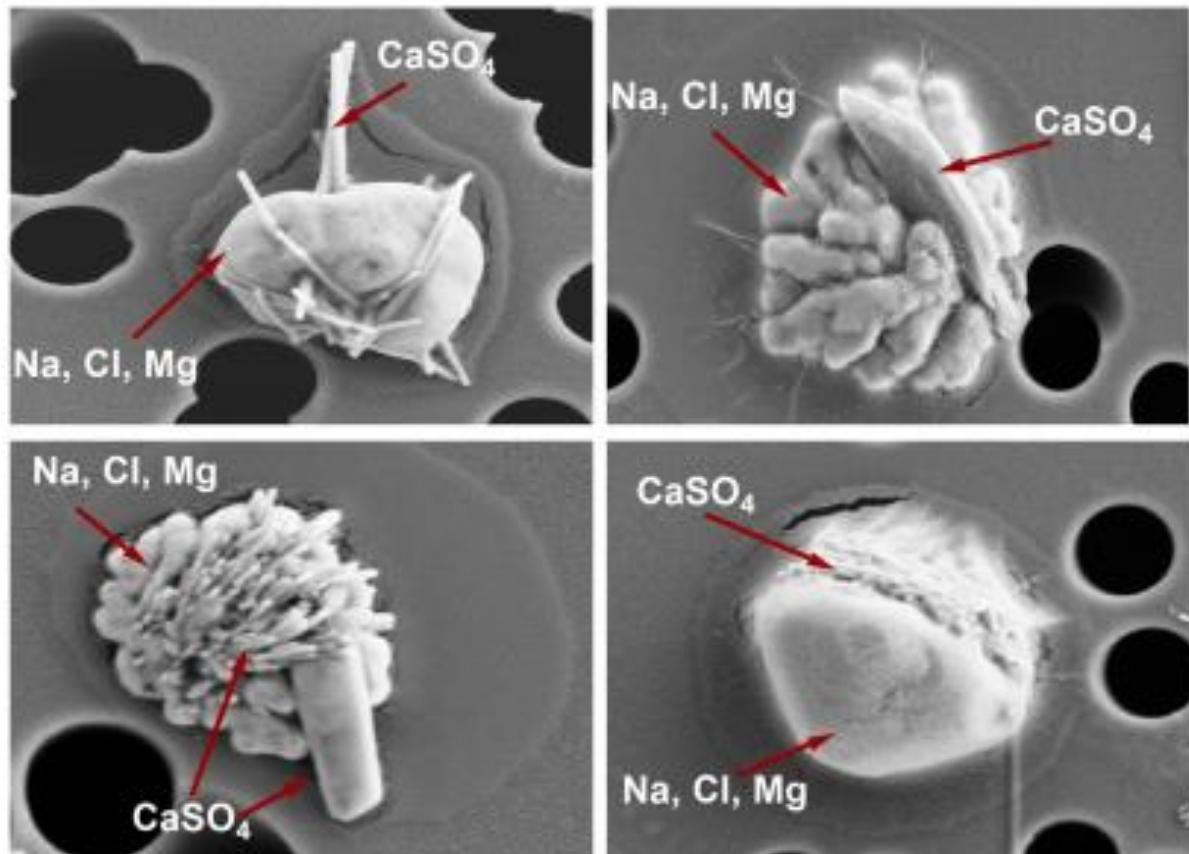


Figura: Microscopia eletrônica de varredura das partículas de *sea spray* coletadas no Pacífico Oeste pela expedição *Tara Pacific*. Os furos têm diâmetro de $0,8\mu\text{m}$. (Flores et al., 2019)



Area Metropolitana de São Paulo

População: ~ 21 milhões de habitantes.

Frota veicular de 7 milhões de veículos

85% veículos leves (LDV)

3% veículo pesados (diesel, HDV)

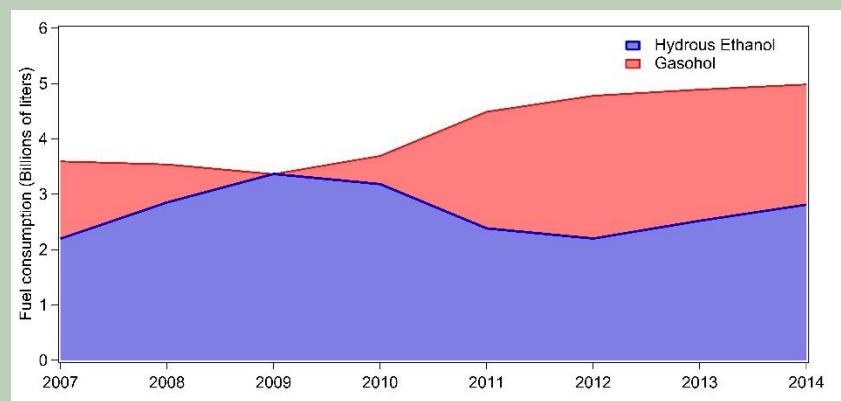
12% motocicletas

31 % dos LDVs usam gasool (75% gasolina +25% etanol)

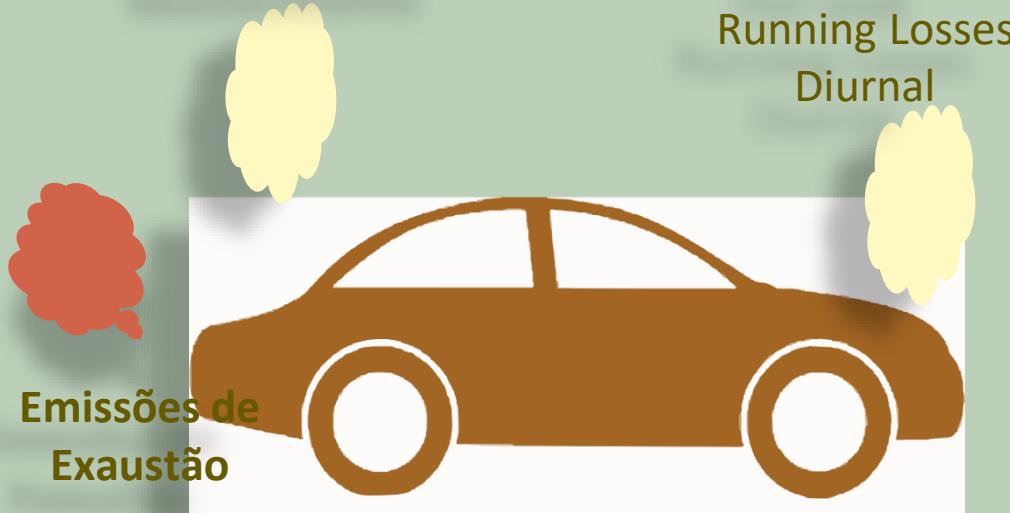
2 % usam etanol anidro (95% etanol +5% água)

50 % são flex-fuel

2% usam diesel (diesel com 8% biodiesel)



Emissões de abastecimento



Emissões Evaporativas

- Hot Soak
- Running Losses
- Diurnal

- 1) exposição ao sol com o veículo estacionado;
- 2) após o desligamento do motor;
- 3) durante o seu movimento;
- 4) por permeação em materiais poliméricos;
- 5) durante o abastecimento

Emissões veiculares

Combustão (sistema de exaustão)
Evaporativas (armazenagem de combustível e sistema de abastecimento)



Fontes não consideradas de forma adequada

- Emissões evaporativas (refulling, running losses, etc)
- Emissões domésticas
- Queima de lenha e carvão para cozimento de alimentos
- Queima de lixo
- Queima de biomassa de processos de agricultura

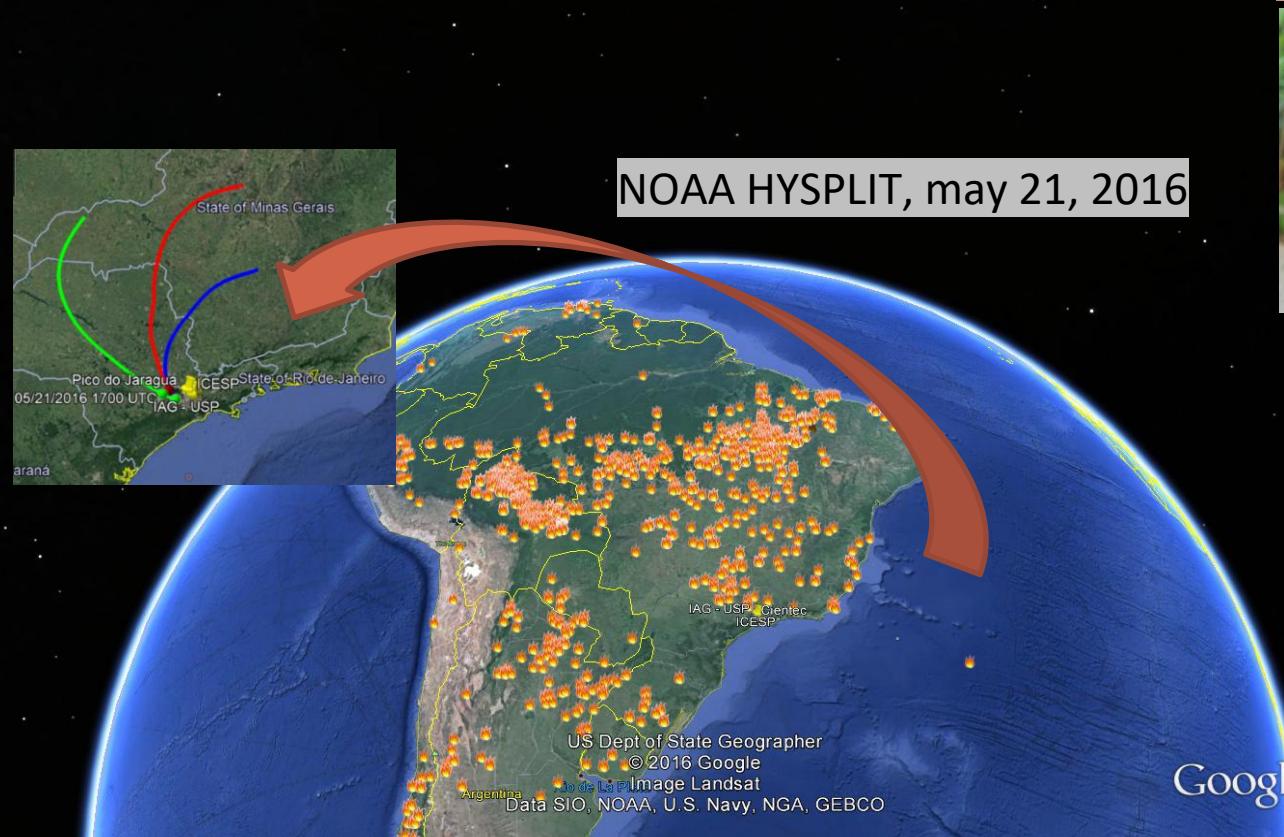
QUEIMA DE BIOMASSA

Lenha



Transporte de média longa distância

NOAA HYSPLIT, may 21, 2016



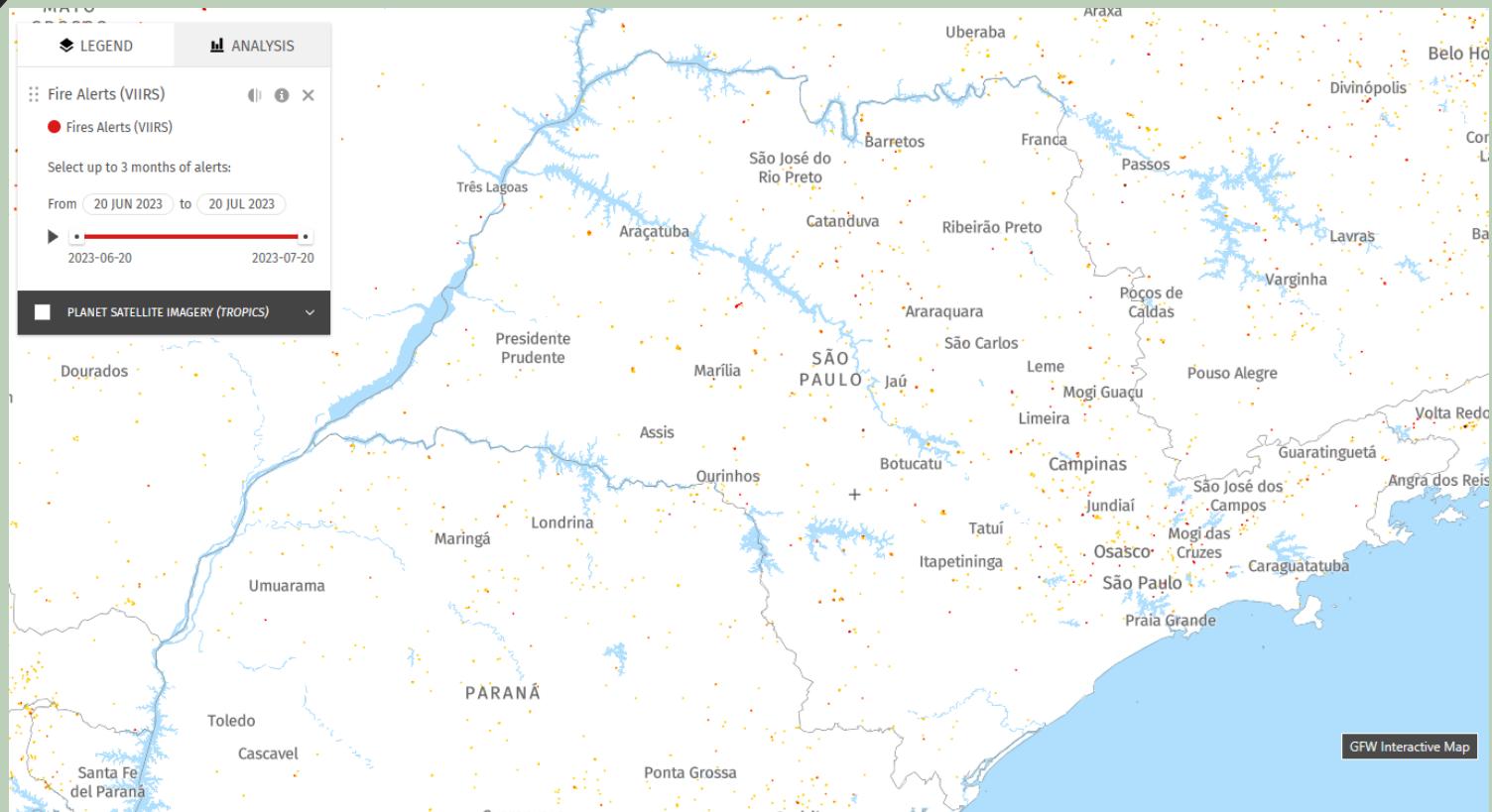
Carvão



Fontes locais

Focos ativos
(20 de Junho
a 20 de julho)
fires.globalforestwatch.org.html

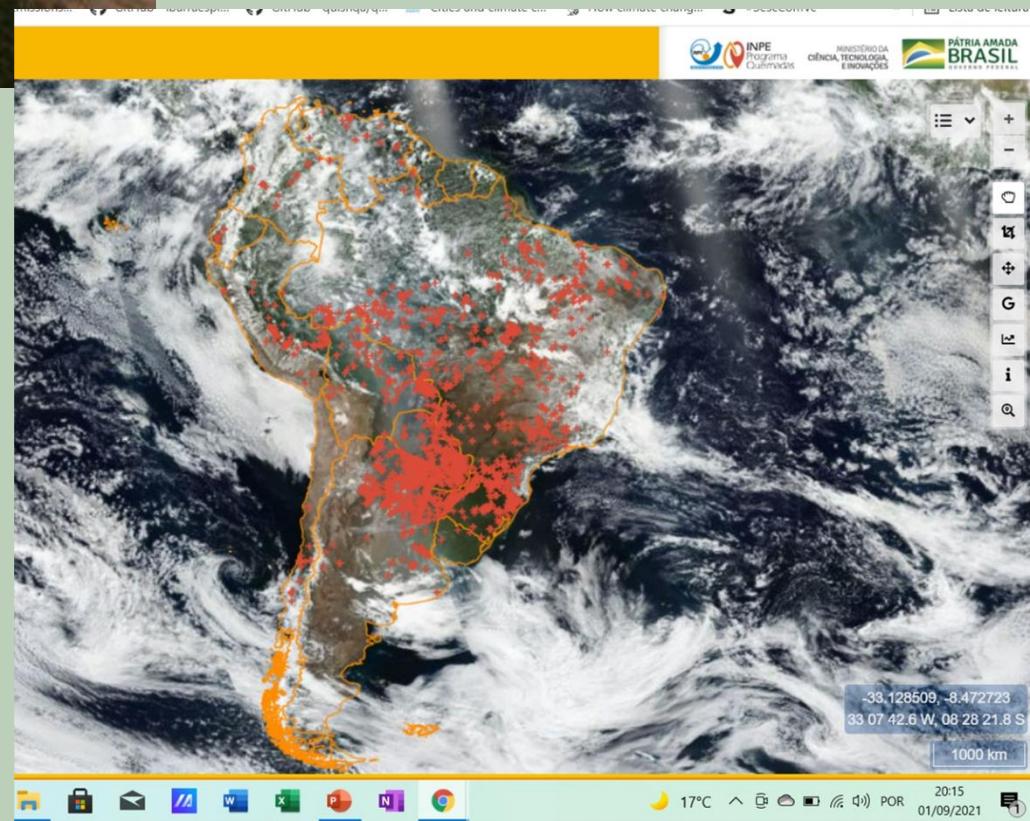
FOGOS NO ESTADO DE SÃO PAULO 2023



<https://gfw.global/3pVd6Vg>



Parque estadual do
Juquery, 22 a 25 de
agosto de 2021



<https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas#mapa>

Carbono Negro (BC) e outros poluentes da combustão incompleta

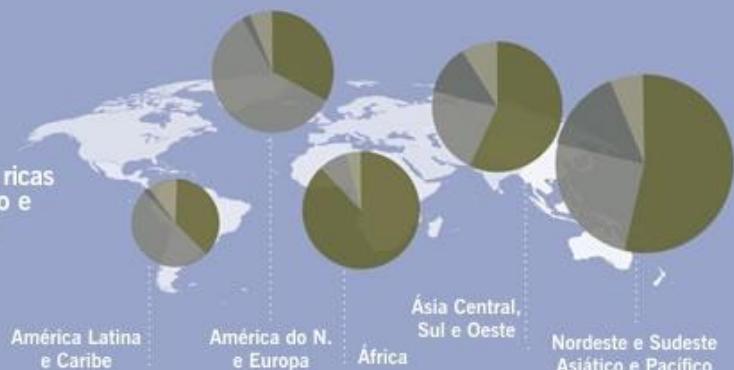
O carbono negro é um dos produtos da combustão incompleta de biomassa e combustíveis fósseis. Possui um importante papel no clima e atua como um perigoso poluente atmosférico.

TEMPO DE VIDA
NA ATMOSFERA

Dias

EMISSÕES

principais fontes ricas em BC por região e por setor (2005)



PRINCIPAIS FONTES DE CARBONO NEGRO

O carbono negro é sempre emitido juntamente com outros poluentes particulados, alguns dos quais possuem efeito de resfriamento no clima. A proporção entre BC e estes outros poluentes varia de acordo com a fonte, determinando se esta possui efeito de aquecimento ou resfriamento na atmosfera.



Suspensos na atmosfera, as partículas de Carbono Negro contribuem para o aquecimento global por meio da absorção de energia e conversão desta em calor

BC é um perigoso poluente atmosférico local, o qual pode ser transportado pelo mundo

Nuvens limpas refletem a luz solar



BC é coletado pelas nuvens



Nuvens cobertas com fuligem absorvem luz



Alteração nos padrões de chuva e nuvens

Reduz a luz que atinge a superfície terrestre

Danos à Saúde humana



Neve e Gelo refletem a luz solar



Montanhas cobertas com fuligem absorvem luz

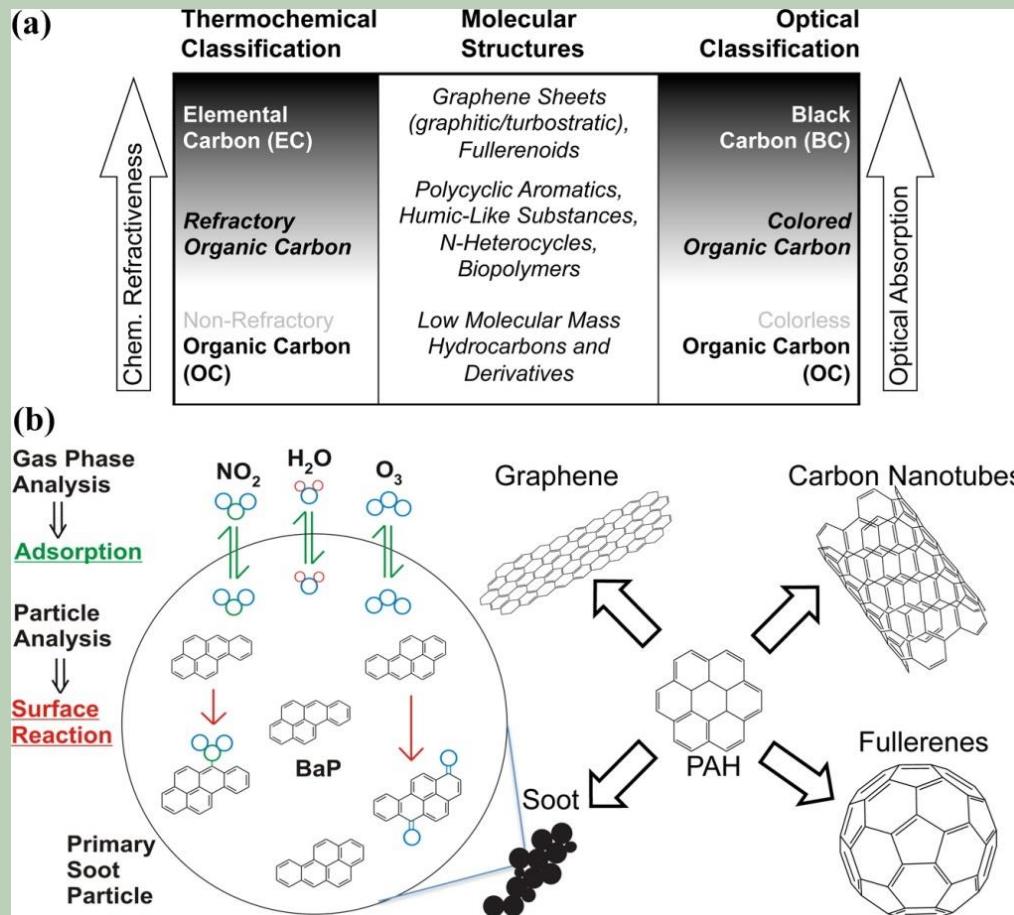
Aumento nas taxas de derretimento

Impactos nos ecossistemas



AEROSSÓIS DE COMBUSTÃO CARBONÁCEOS, (A) COMPOSIÇÃO, PROPRIEDADES E CLASSIFICAÇÃO DE ACORDO COM AS ESTRUTURAS MOLECULARES, E REAÇÕES COM COMPOSTOS REATIVOS DE OXIGÊNIO (ROS) E DE NITROGÊNIO (RNS).

Reações de transformação de HPA em soot envolvendo reações de muitas fases com ROS e RNS



Compostos de carbono e estruturas, refratariedade e coeficientes de absorção

HPA funcionam como blocos de construção para as partículas soot, fulerenos, grafenos e nanotubos de carbono



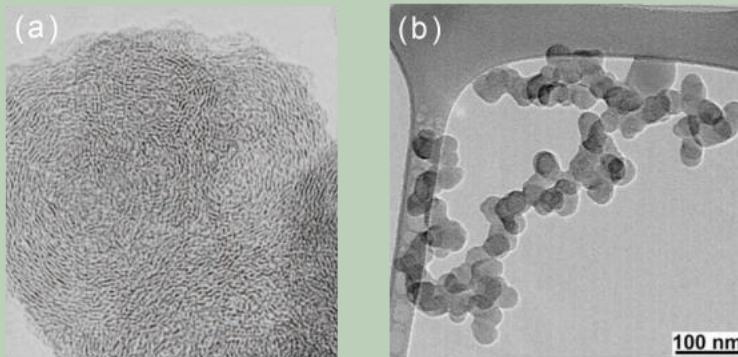


Figure 2-2. BC Images. (a) High resolution transmission electron microscopy (TEM) image of a BC spherule (Pósfai and Buseck, 2010). (b) TEM image of a representative soot particle. Freshly emitted soot particles are aggregates of soot spherules (Alexander et al., 2008).



Figure 2-3. Representative Examples of Filter Samples Collected from Different Sources, including: (a) Smoldering Biomass, (b) Flaming Biomass, and (c) Diesel Exhaust. (Photo courtesy of Desert Research Institute)

Terminology

Black carbon (BC) is a solid form of mostly pure carbon that absorbs solar radiation (light) at all wavelengths. BC is the most effective form of PM, by mass, at absorbing solar energy, and is produced by incomplete combustion.

Organic carbon (OC) generally refers to the mix of compounds containing carbon bound with other elements like hydrogen or oxygen. OC may be a product of incomplete combustion, or formed through the oxidation of VOCs in the atmosphere.² Both primary and secondary OC possess radiative properties that fall along a continuum from light-absorbing to light-scattering.

Brown carbon (BrC) refers to a class of OC compounds that absorb ultraviolet (UV) and visible solar radiation. Like BC, BrC is a product of incomplete combustion.³

Carbonaceous PM includes BC and OC. Primary combustion particles are largely composed of these materials.

Light absorbing carbon (LAC) consists of BC plus BrC.

Soot, a complex mixture of mostly BC and OC, is the primary light-absorbing pollutant emitted by the incomplete combustion of fossil fuels, biofuels, and biomass.

Efeito dos aerossóis no clima

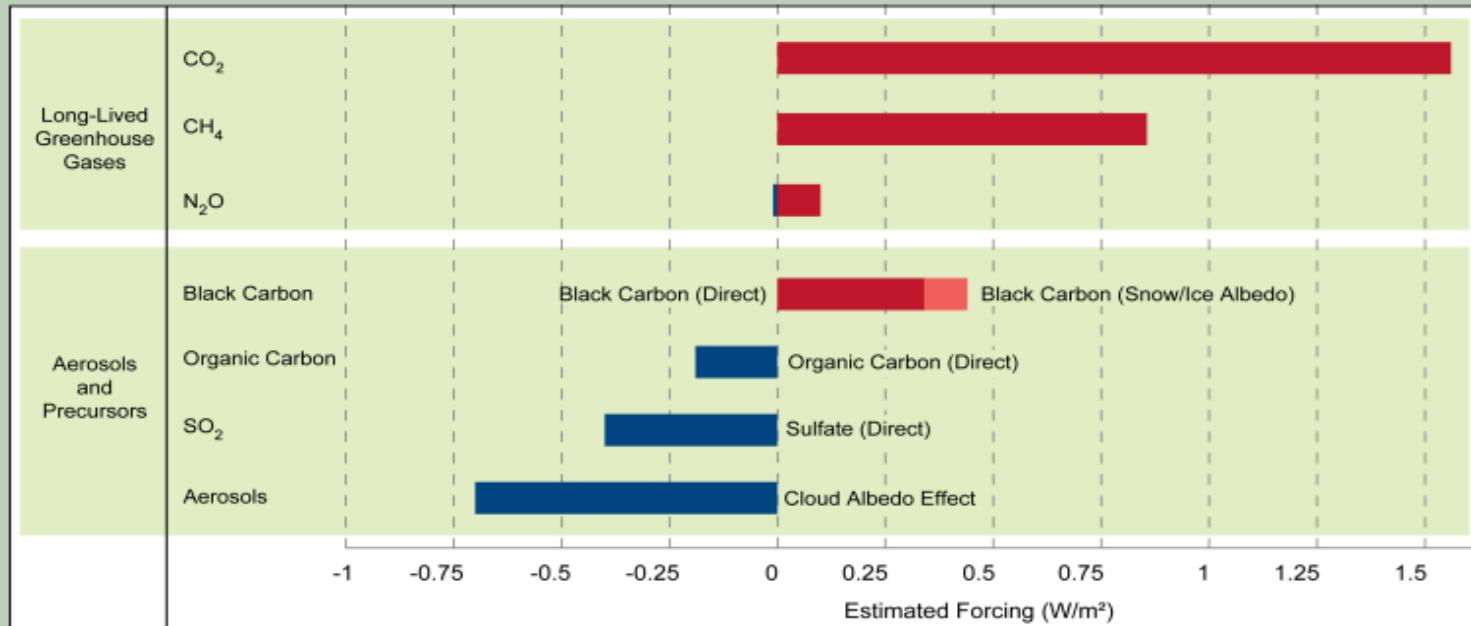
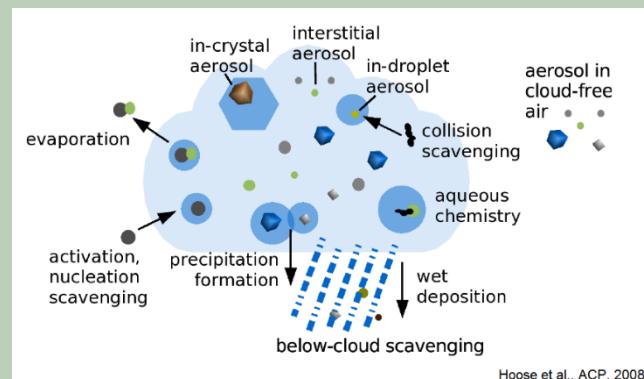
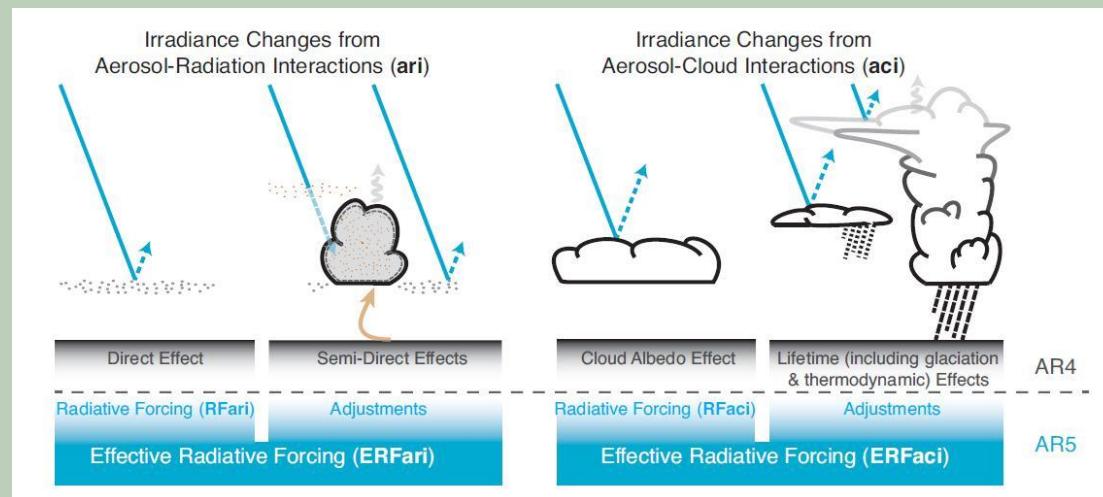


Figure 2-10. Components of Global Average Radiative Forcing for Emissions of Principal Gases, Aerosols, and Aerosol Precursors, based on IPCC estimates. Values represent global average radiative forcing in 2005 due to emissions and changes since 1750. Total radiative forcing for CH₄ includes the effects of historical CH₄ emissions on levels of tropospheric O₃ and stratospheric H₂O, and the CO₂ oxidation product of CH₄ from fossil sources. Similarly, total radiative forcing for N₂O includes the effect of historical N₂O emissions on levels of stratospheric O₃. The IPCC does not report an overall uncertainty for the net contribution to forcing of individual GHG emissions. However, based on the uncertainties provided for the individual components of these contributions, the uncertainty in forcing from CO₂ and N₂O emissions is extrapolated as being approximately 10% and approximately 20% from CH₄ emissions. Uncertainty in direct forcing is ± 0.25 W m⁻² for BC and ± 0.20 W m⁻² for both OC and SO₂. The range of forcing for the cloud albedo effect is -1.8 to -0.3 W m⁻². (Adapted from Figure 2.21 of Forster et al., 2007)

Aerossóis e Nuvens



Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change

Brown Carbon

Outro poluente de efeito climático de aquecimento?

- Black Carbon (soot)

- Produzido em combustão em altas temperaturas de combustíveis contendo material carbonáceo

- Brown Carbon

- Produzido por queima em baixas temperaturas de combustíveis contendo biomassa e provavelmente de orgânicos secundários provenientes de combustíveis fósseis (policíclicos aromáticos, organonitratos)

(Ramanathan, 2013)

Fontes de Compostos Carbonáceos



- Queimadas abertas: BC+ carbono orgânico



Cozinha Residencial : BC + carbono organico



Transporte: Diesel



BC e sulfato industriais

Efeitos radiativos do BC e BrC

A Forçante Radiativa do Black Carbon

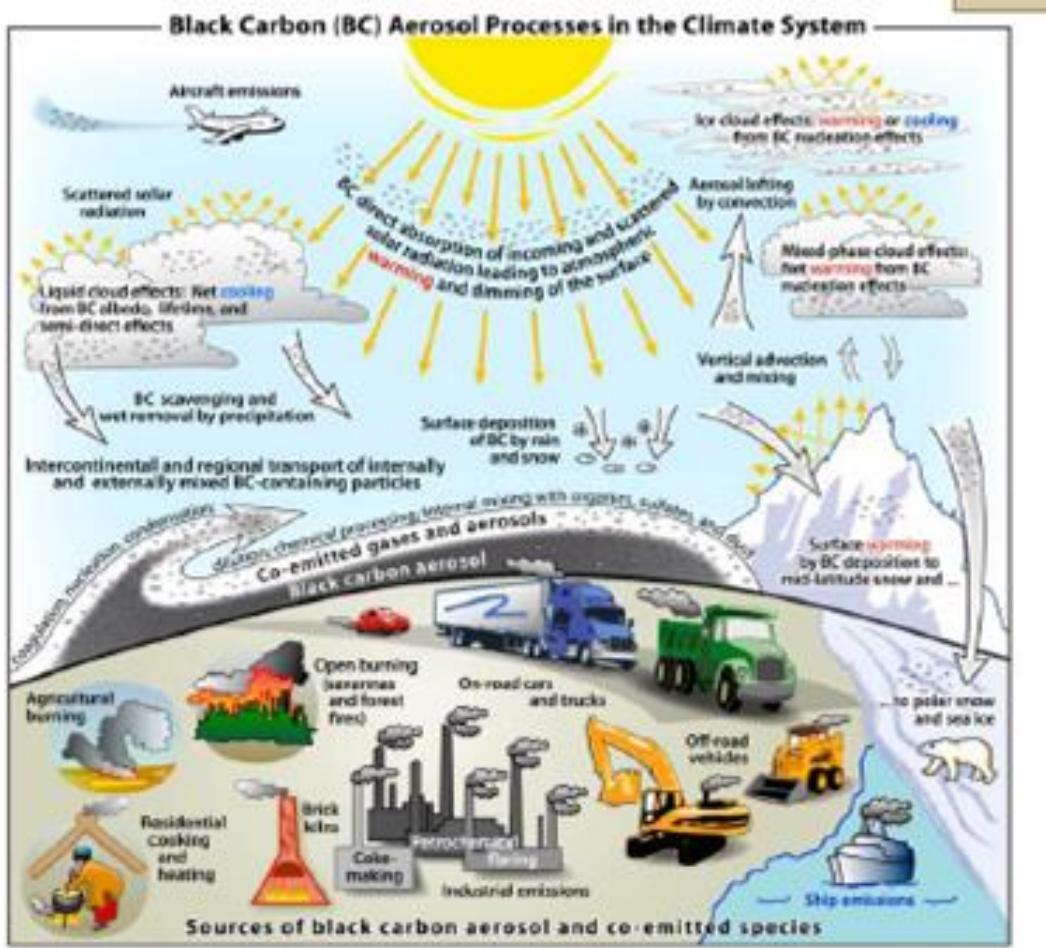


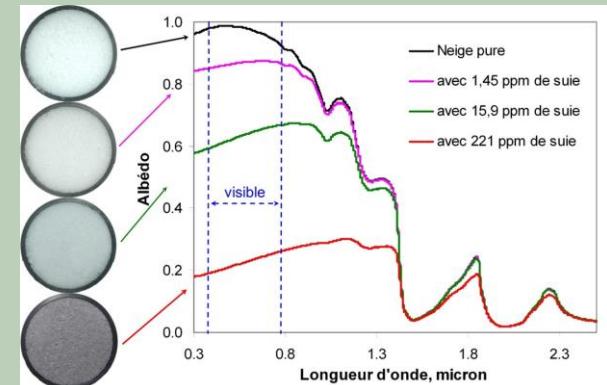
Figure 1. Schematic overview of the primary black-carbon emission sources and the processes that control the distribution of black carbon in the atmosphere and determine its role in the climate system.

Bond et al., 2013

1. Forçamento Direto

1. Forçamento das interações aerossol-nuvem (nuvens baixas, médias e altas)

2. Deposição do BC na neve e superfícies de gelo



Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement

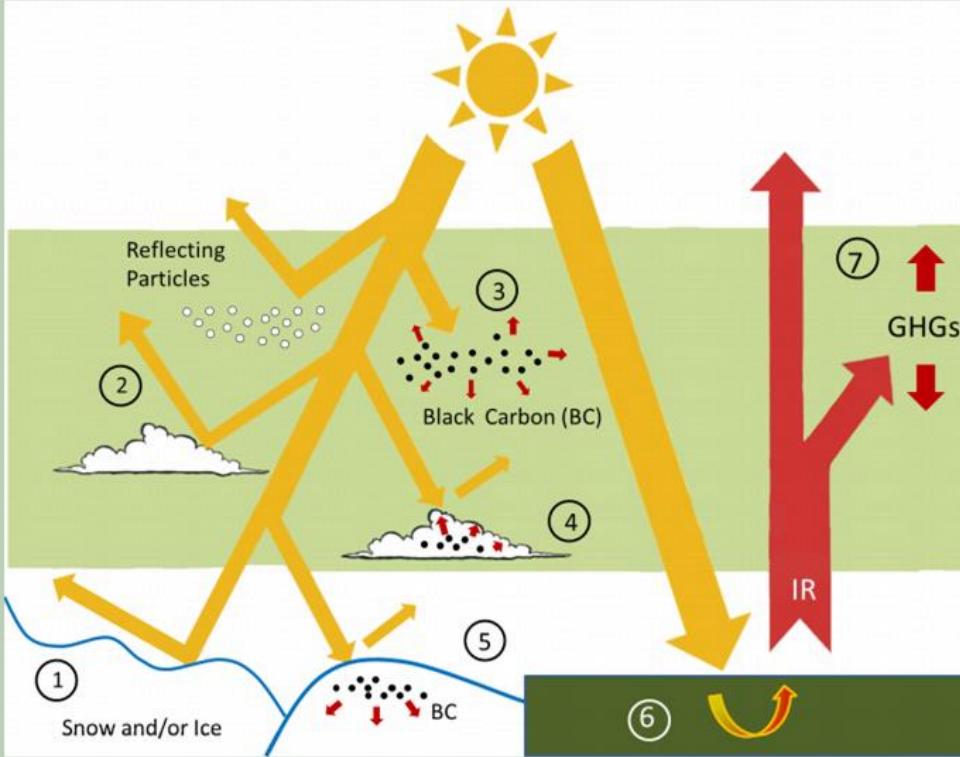
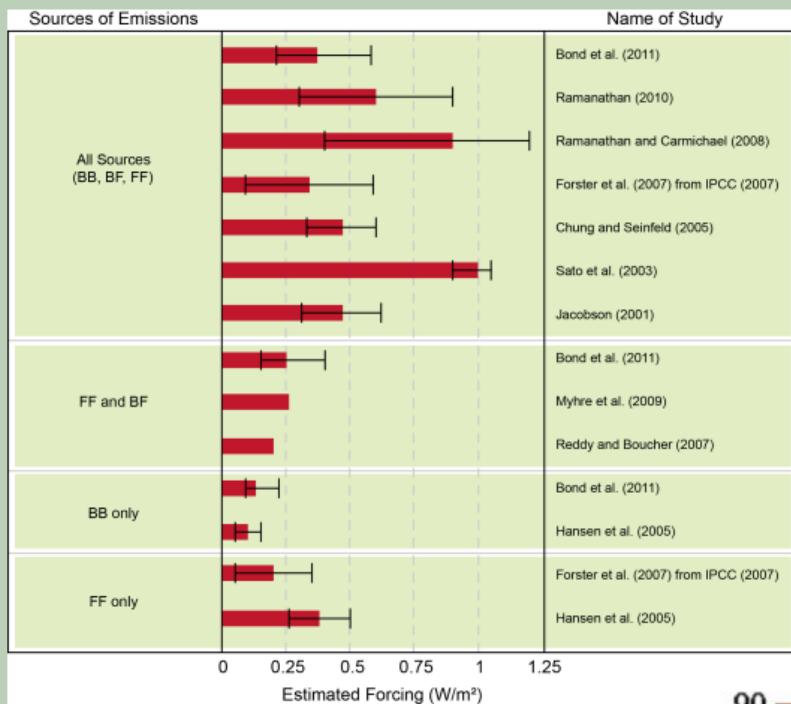


Figure 2-1. Effects of BC on Climate, as Compared to GHGs. (Source: U.S. EPA)

- 1) Radiação solar que chega na superfície da Terra é refletida majoritariamente pelas superfícies brilhantes, como neve e gelo.
- 2) Nuvens e partículas que não absorvem luz espalham ou refletem luz solar, reduzindo a energia solar que é absorvida pela superfície.
- 3) O BC suspenso na atmosfera absorve alguma radiação solar incidente, aquecendo a atmosfera.
- 4) As nuvens contendo inclusões de BC nas gotas de nuvens podem absorver alguma radiação solar incidente, reduzindo a quantidade que é refletida. As nuvens aquecidas pela energia absorvida têm tempo de vida mais curto na atmosfera e podem ser menos prováveis de precipitar comparadas com as nuvens limpas.
- 5) O BC depositado na neve e/ou gelo absorve parte da radiação solar que poderia ordinariamente ser refletida pela neve limpa/gelo, e aumentar a velocidade de descongelamento.
- 6) A maior parte da radiação solar que é absorvida pela superfície da Terra a aquece. Parte da energia absorvida é convertida em radiação infravermelha que é emitida na atmosfera e de volta ao espaço
- 7) A maior parte desta radiação infravermelha passa através da atmosfera, mas parte é absorvida pelas moléculas de GEE. Estes gases reemitem a radiação absorvida, com metade retornando para a superfície da Terra. Este efeito GEE aquece a superfície da Terra e a baixa atmosfera.

Black Carbon



Estimativas do forçamento radiativo direto das emissões de Black Carbon.

Estimativas baseadas em referências da literatura, são o forçamento com relação aos baselines (1750, pós-industrial, tempo presente)

BB = queima de biomassa

BF = biocombustível

FF = combustível fóssil

(Fonte: USEPA)

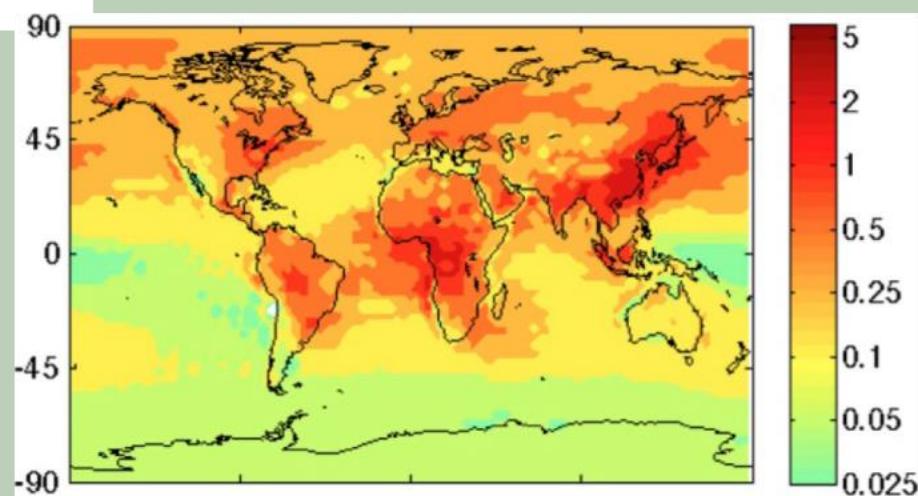


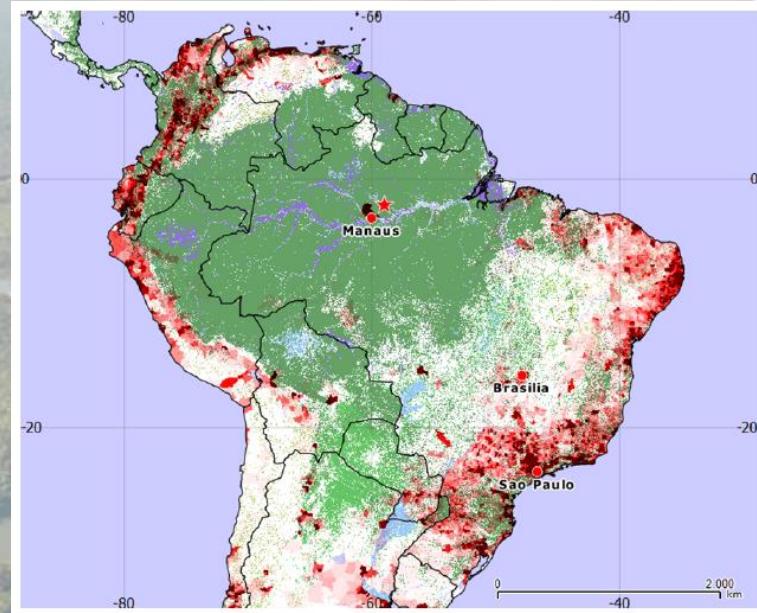
Figure 2-13. Direct Radiative Forcing (W m^{-2}) of BC from All Sources, simulated with the Community Atmosphere Model. (Bond et al., 2011)

Aerossóis na Amazônia



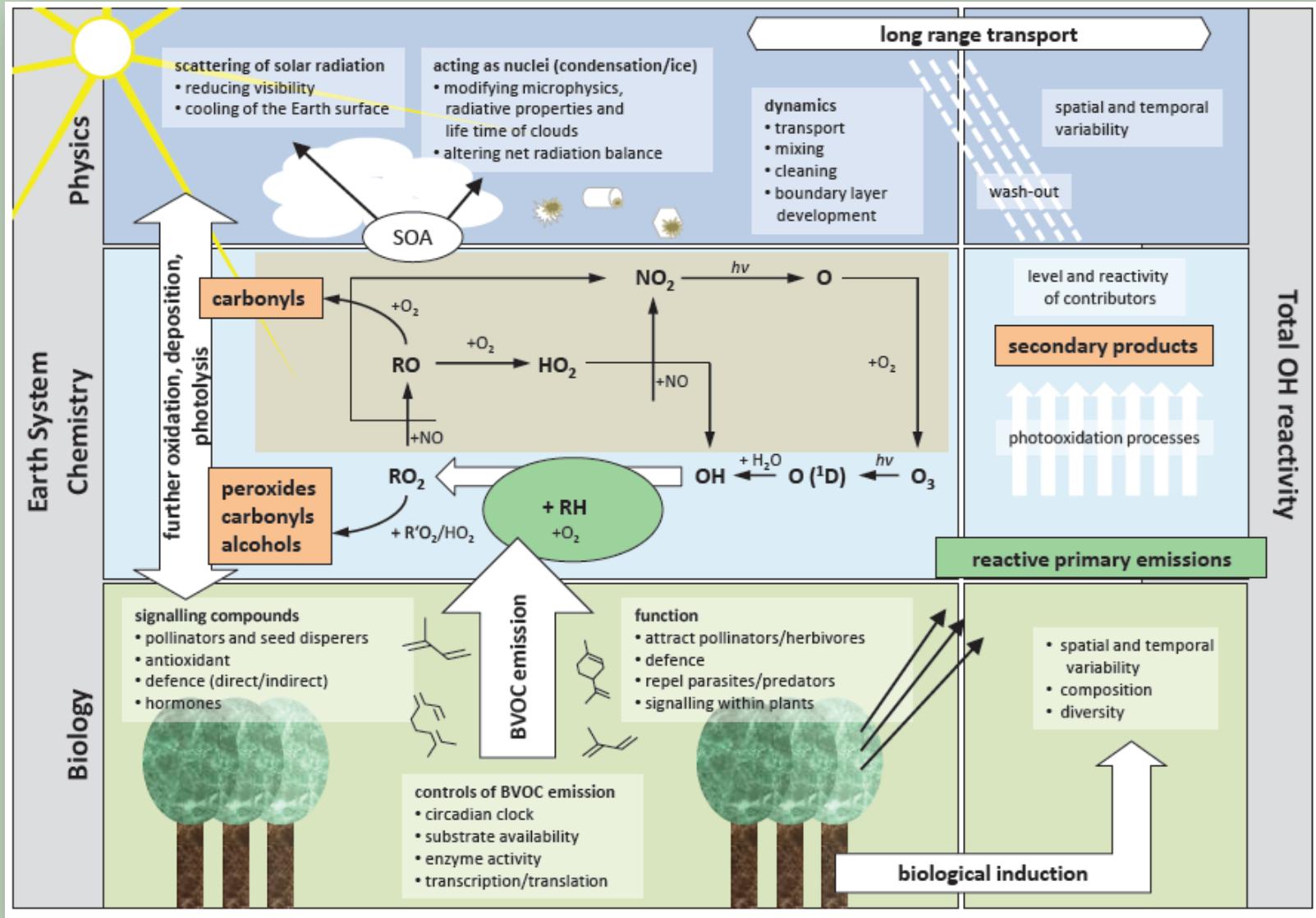
Amazônia

- **Região da Floresta: 9 países. Brasil: 60% de toda a Floresta - 9 estados.**
- **Maior biodiversidade vegetal e animal do planeta;**
- **Maior bacia hidrográfica do mundo: rio Amazonas deságua 220 000 m³/s;**
- **> 300 populações indígenas (muitas ainda isoladas): grande diversidade de culturas, línguas e dialetos;**
- **Manaus: única cidade do mundo com mais de 2 milhões de habitants e completamente cercada por Floresta tropical;**



Andreae, et al.,
2015

A Amazônia é um sistema complexo



As interações entre a biologia, a química e a física na Floresta são exemplos de processos não-lineares.

IMPACT OF HUMAN ACTIVITY ON THE AMAZON ENVIRONMENT

**CHANGES IN
TEMPERATURE,
PRECIPITATION,
EVAPOTRANSPIRATION
AND CARBON CYCLING**
Warming trends and
increase in dry season



**IMPACTS ON
BIODIVERSITY
AND ECOSYSTEM
SERVICES**
Terrestrial
and aquatic
biodiversity loss,
increase in tree
mortality

**CLIMATE
CHANGING THE AMAZON**

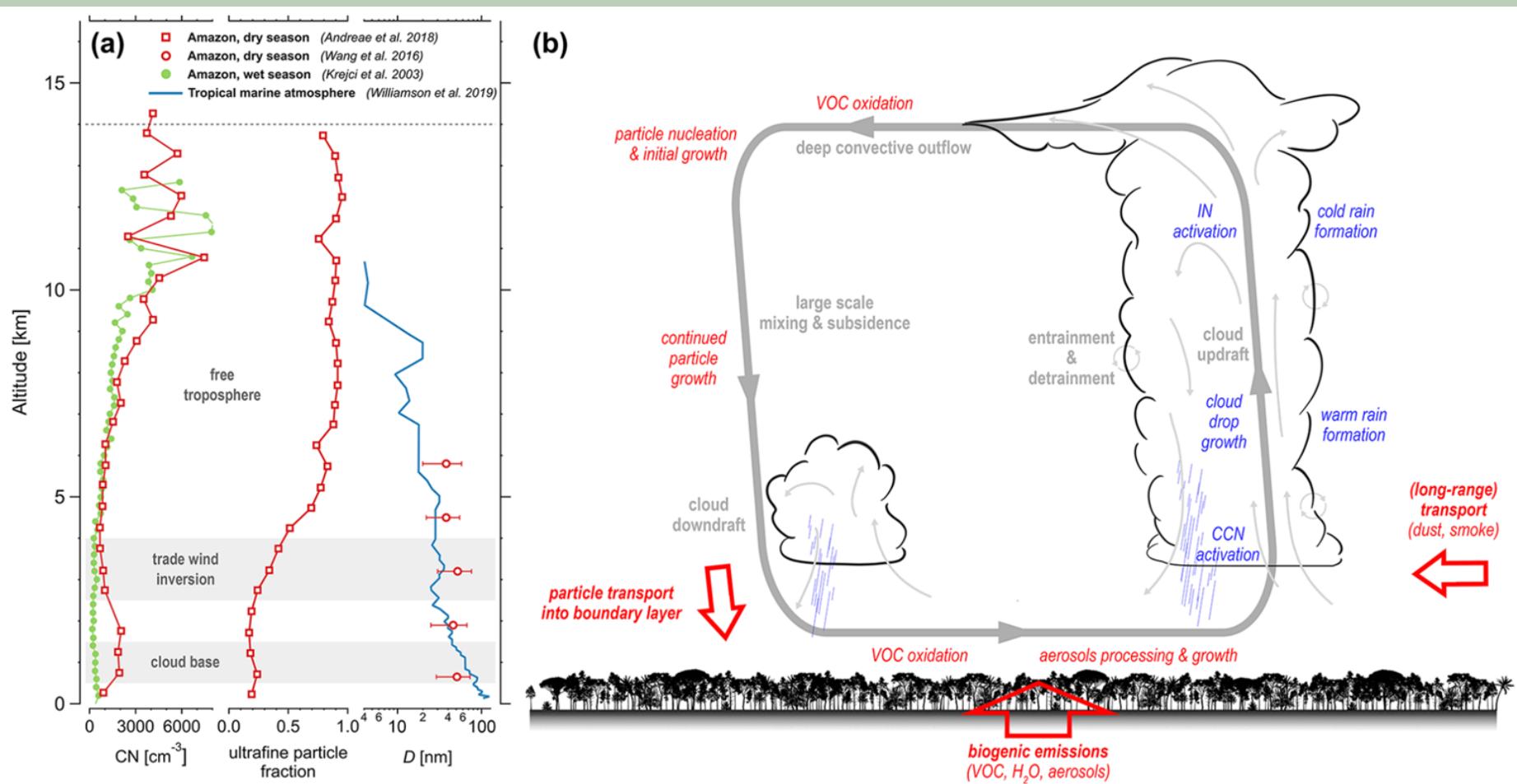
**LAND-USE
CHANGE**
Deforestation and
forest degradation



**AMAZON INFLUENCING
CLIMATE CHANGE**

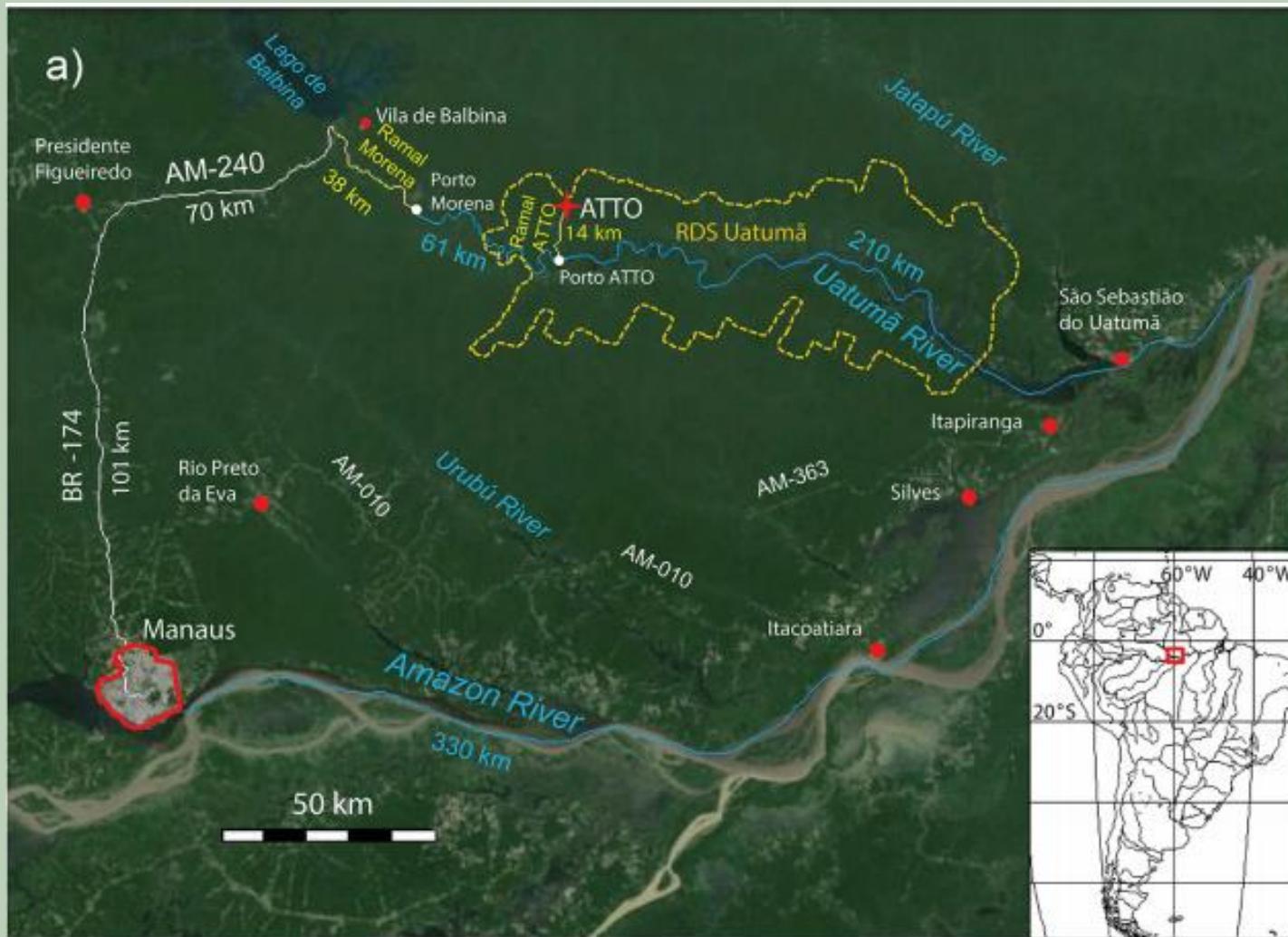
Aerossóis na Amazônia Central

Questão: o que sustenta a população de aerossóis dentro da baixa atmosfera na Amazônia Central?



Sítio ATTO

Localização e características regionais



O sítio ATTO: infraestrutura

- O sítio é composto por 3 torres conectadas a laboratórios compostos por diversos instrumentos para medição de aerossóis e gases.
- E não só: há também trabalhos a respeito da fauna e flora locais!
- Grande cooperação de cientistas de diversas áreas do conhecimento: físicos, biólogos, químicos, engenheiros, geólogos, meteorologistas...



O sítio ATTO: infraestrutura

- Laboratório container conectado à torre ATTO, de 325m.

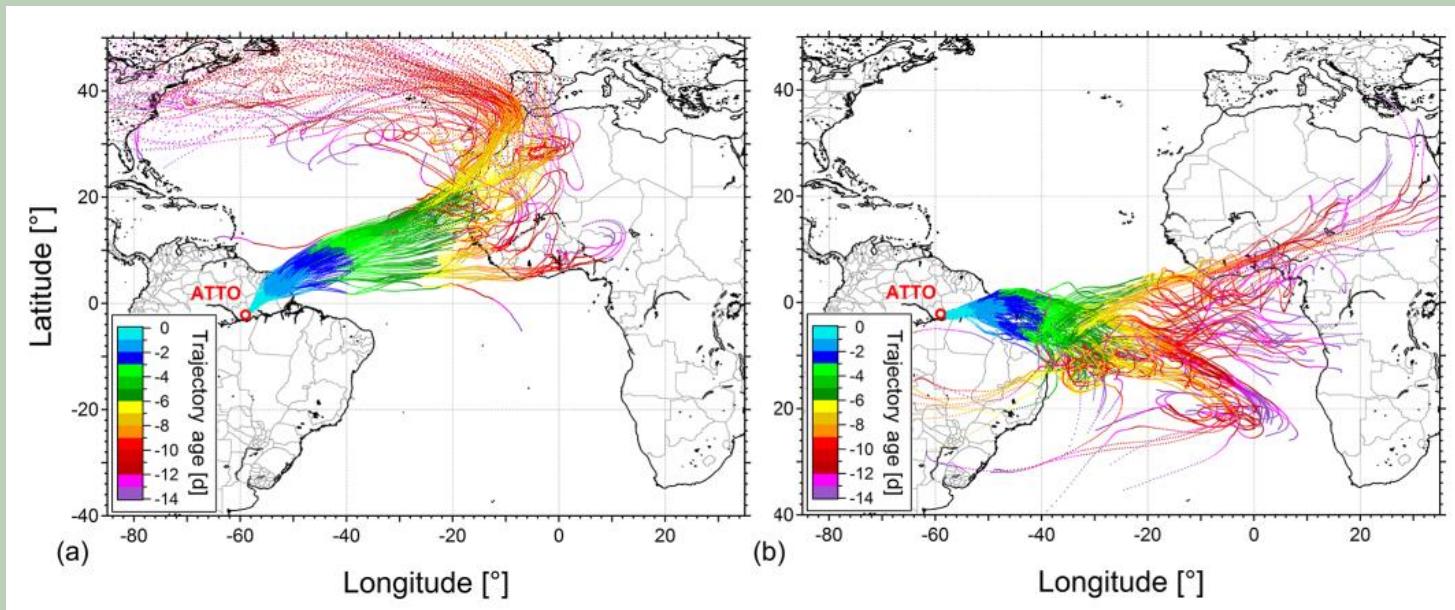


ATTO Tower Workshop

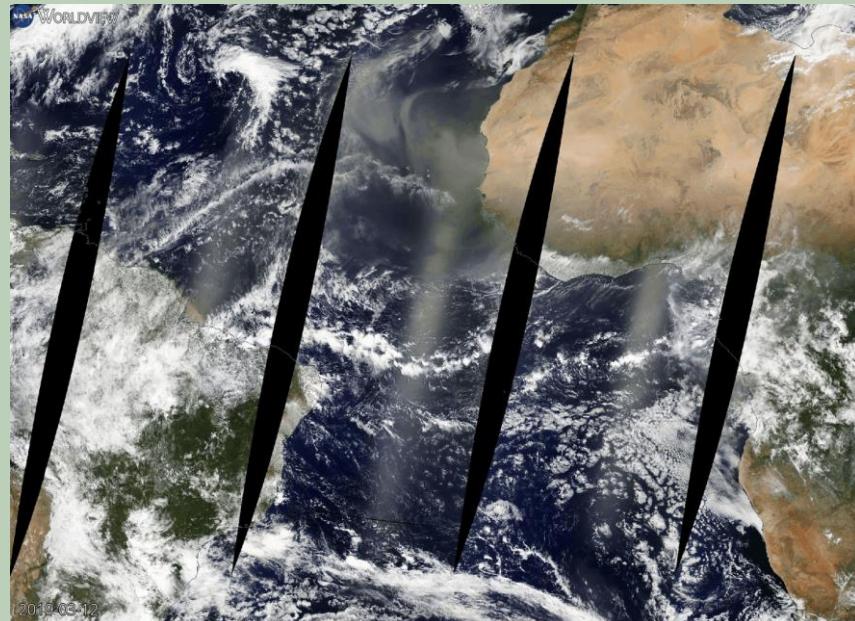
Cooperation Brazil-Germany

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia-INPA, Manaus
Max-Planck Institute for Chemistry-MPI-C, Mainz
Max-Planck Institute for Biogeochemistry-MPI-BGC, Jena
Universidade do Estado do Amazonas-UEA, Manaus

O sítio ATTO: transportes de longa distância



Pöhlker, et al., 2019



- Diferentes massas de ar que atingem o sítio ATTO nas estações chuvosa (à esquerda) e seca (à direita), transportando diferentes plumas de aerossóis;

Data from: <https://worldview.earthdata.nasa.gov>

Estação seca no ATTO: queimadas locais e africanas



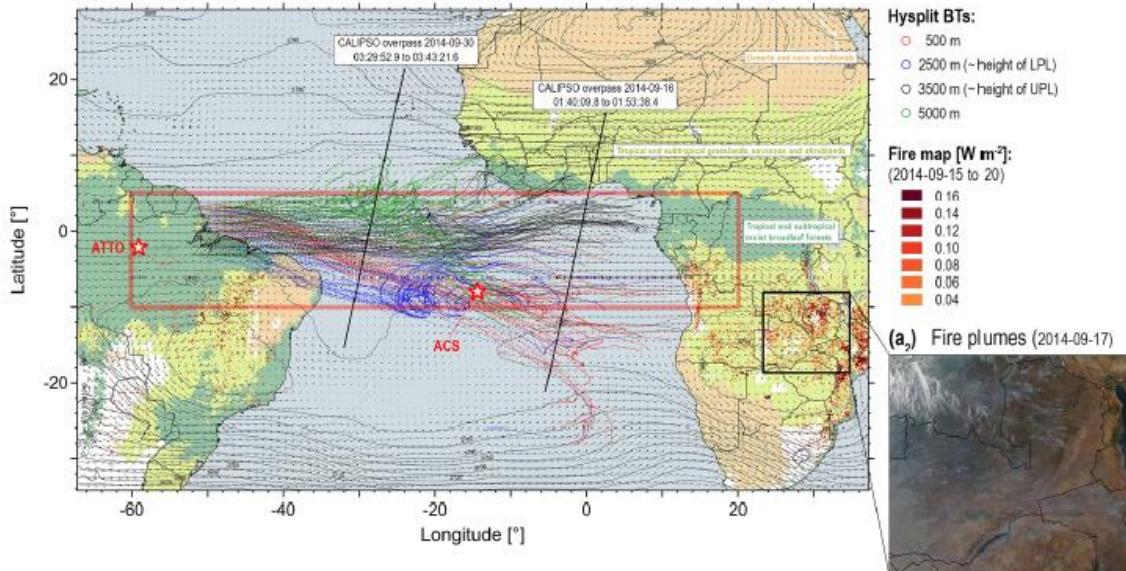
Holanda et al., 2020.

- Aeronave alemã utilizada em campanhas de medidas de aerossóis na Amazônia.

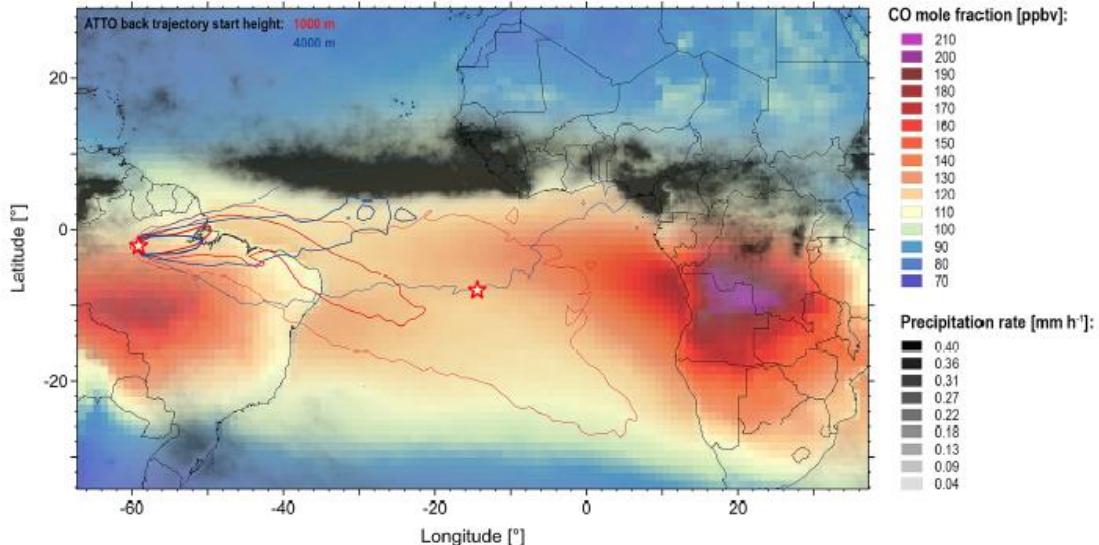


Queimadas locais x Queimadas Africanas

(a.) Backward trajectories, wind field and fires during UPL observation on 30 Sep 2014



(b) Multi-year September averages of backward trajectories, precipitation and CO map



- Transportes de longa distância: massas de ar provenientes do oeste africano atingem o sítio ATTO em aproximadamente 15 dias;
- Transporte muito eficiente de material particulado e gases, mesmo na estação seca;
- Vôos com o HALO na campanha ACRIDICOM e na campanha CAFÉ-AFRICA detectaram plumas de queimadas em diferentes pontos do trajeto;

Holanda et al., 2020.

Transportes de longa distância de partículas do deserto do Saara para a Amazônia

