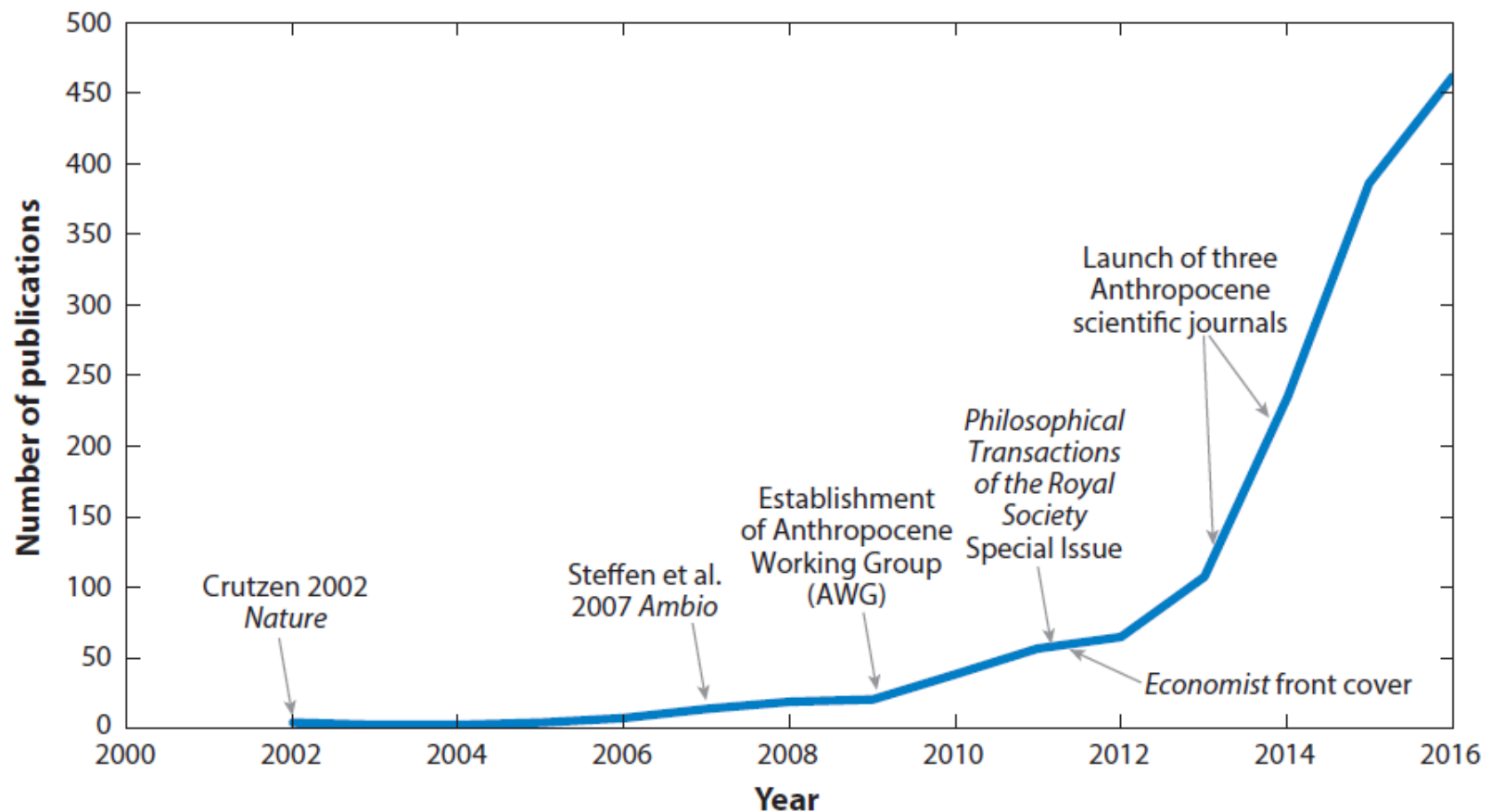


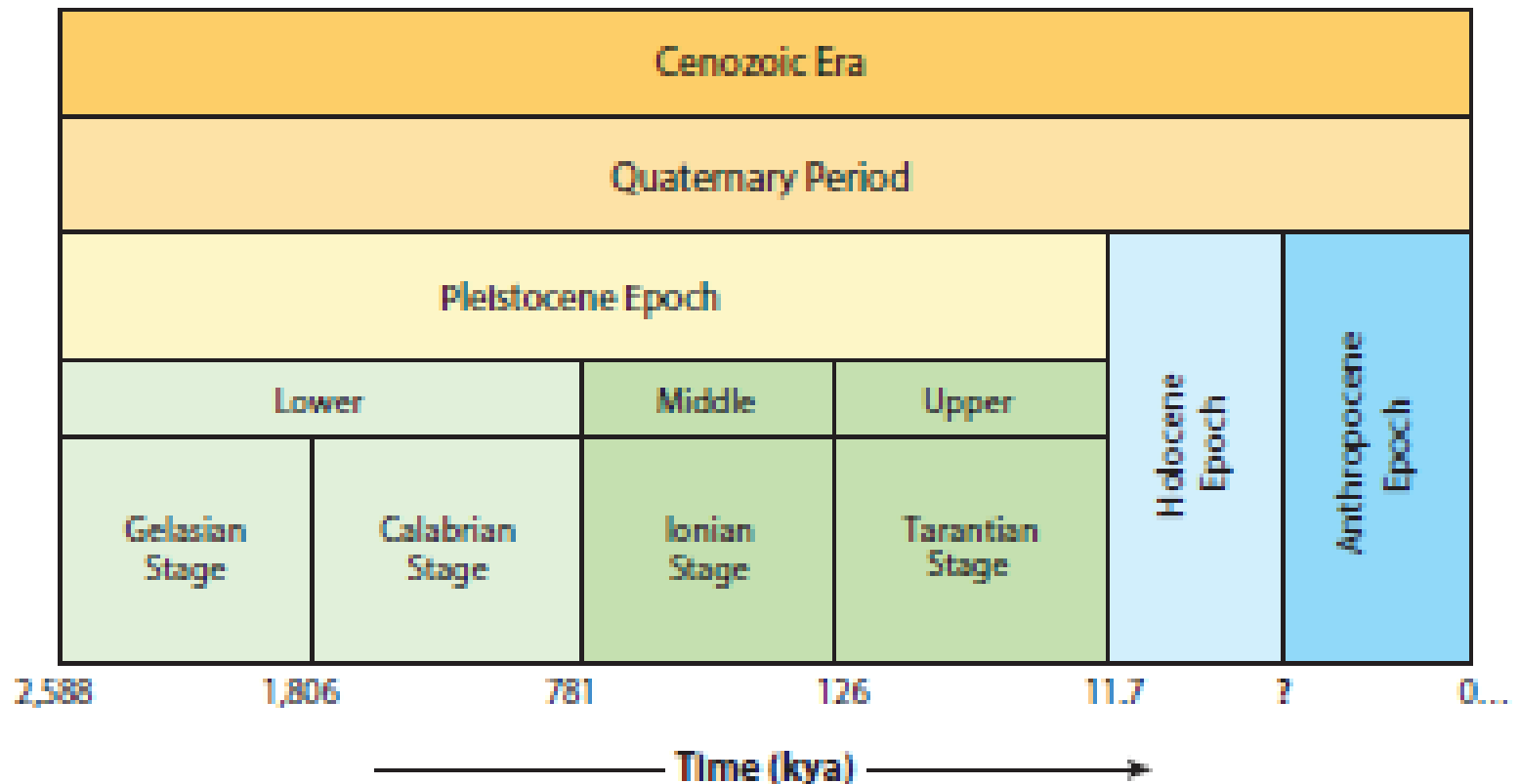


Universidade de São Paulo
Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas
Departamento de Ciências Atmosféricas
DCA/IAG/USP

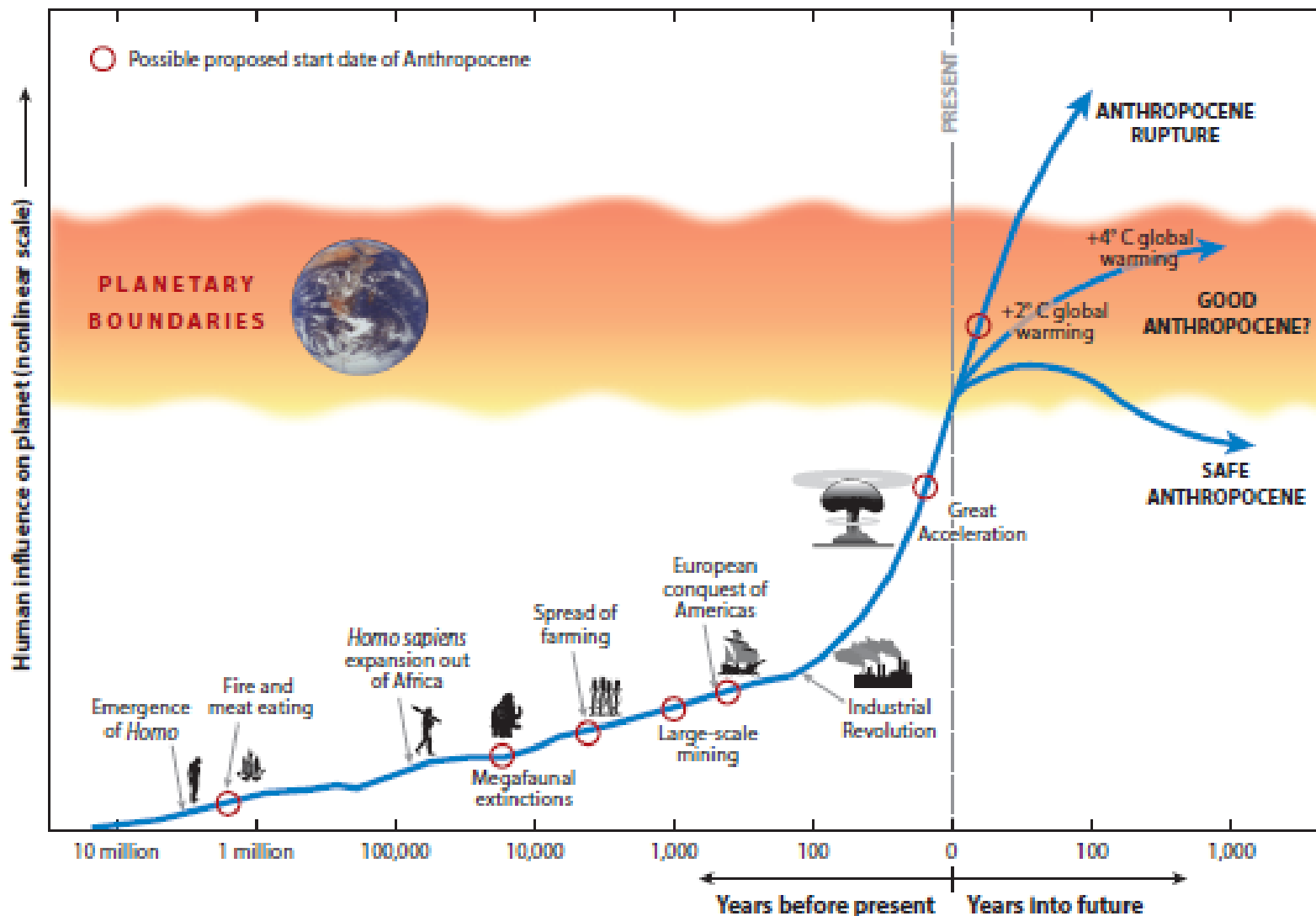
ACA0410 – Introdução à química atmosférica



Evolução do número de publicações de revistas científicas por ano sobre o tópico “Antropoceno” (baseado no Web of Science) até o final de 2016, com os principais eventos anotados.



Como o Antropoceno pode se encaixar como uma época geológica formal nos últimos 23 milhões de anos da Escala de Tempo Geológico. Existem casos a serem feitos (não formalmente, até hoje) para considerar o novo conceito como uma entidade geológica de ordem superior (período ou era) e também para rebaixar o Holoceno para o estágio final do Pleistoceno ou o primeiro estágio do Antropoceno.



Proposta de linha do tempo da crescente influência humana sobre o sistema da Terra, com algumas datas de início propostas para uma data de início para o Antropoceno em destaque.

Pontos de destaque

1. O termo Antropoceno surgiu em 2000 para englobar o conceito de um período de tempo durante o qual a atividade humana passou a ter um efeito importante sobre o funcionamento natural do planeta.
2. O conceito funciona como um termo genérico, incorporando uma gama de influências humanas no planeta, incluindo mudanças climáticas, perda e mistura da biodiversidade, limitação de recursos e produção de resíduos.
3. A nomenclatura geológica levou a um processo contínuo de adoção formal do Antropoceno como uma época geológica. Existe controvérsia sobre se a formalização é necessária ou desejável.

Pontos de destaque

4. A linha do tempo lenta e geograficamente difusa da crescente influência humana sobre o planeta levou a debates vigorosos sobre a data de início mais apropriada.

5. A narrativa predominante está convergindo para uma data de início do Antropoceno em meados do século XX, concomitante à Grande Aceleração da alteração humana do planeta.

6. Independentemente do processo de formalização, o Antropoceno extravasou de suas origens nas ciências naturais para se tornar um **zeitgeist** cultural, um catalisador de numerosos debates culturais, filosóficos e políticos sobre como compreender e responder à dominação humana da Terra.

Malhi, Y., The Concept of the Anthropocene [Annu. Rev. Environ. Resour. 2017. 42:25.1–25.28](#)

Zeitgeist significa espírito de época, espírito do tempo ou sinal dos tempos. É uma palavra alemã.

O **Zeitgeist** é o conjunto do clima intelectual e cultural do mundo, numa certa época, ou as características genéricas de um determinado período de tempo.

Composição química da atmosfera

Atmosfera é a camada de ar que envolve a Terra

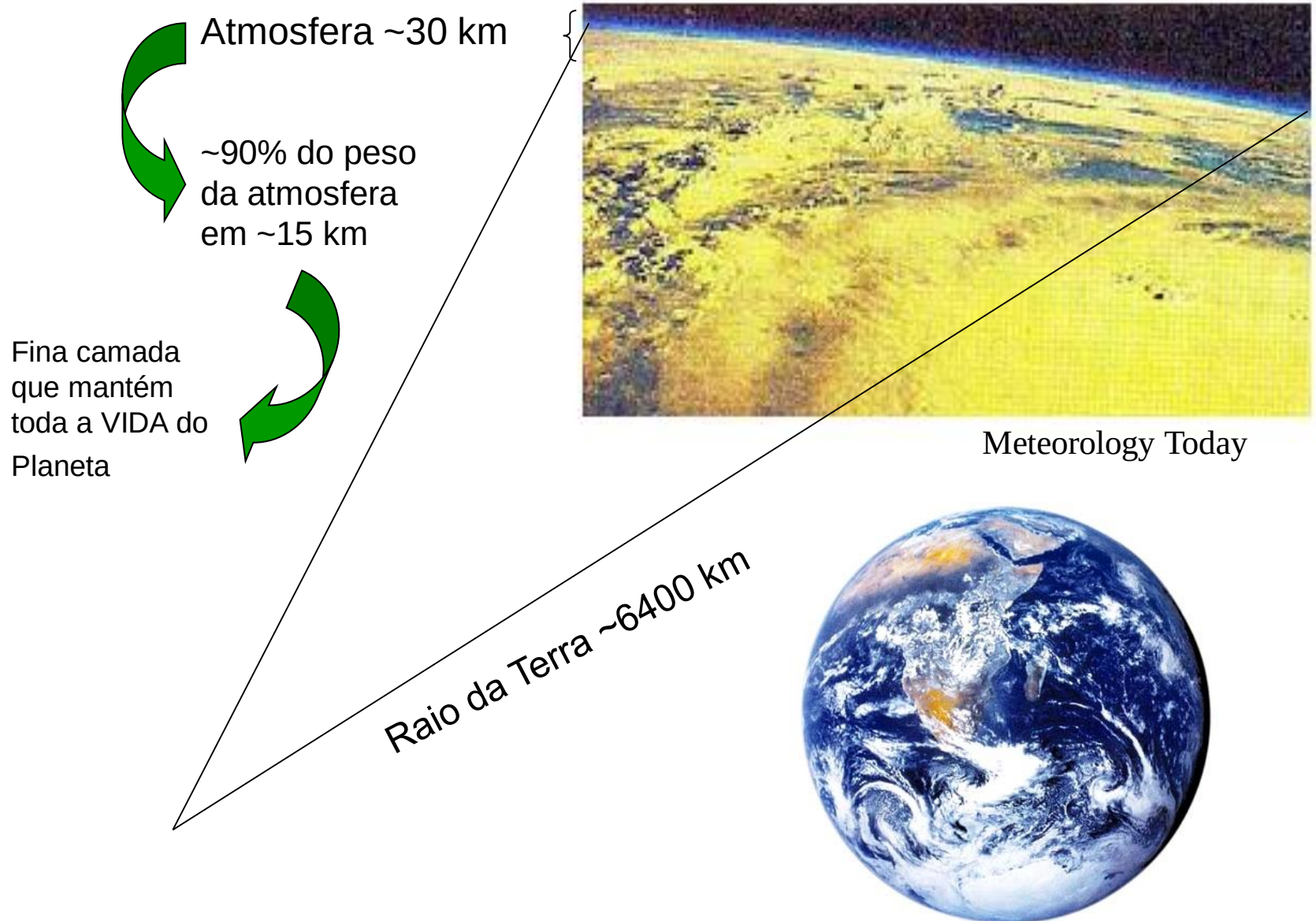
do grego *atmos* = vapor
do latim *sphaera* = invólucro.

Assim, a palavra atmosfera pode significar: invólucro de vapor.

Química - O estudo das interações das substâncias químicas e destas com a energia, baseado nas estruturas dos átomos, moléculas e outros tipos de agregações.

Química atmosférica.....

Espessura da atmosfera

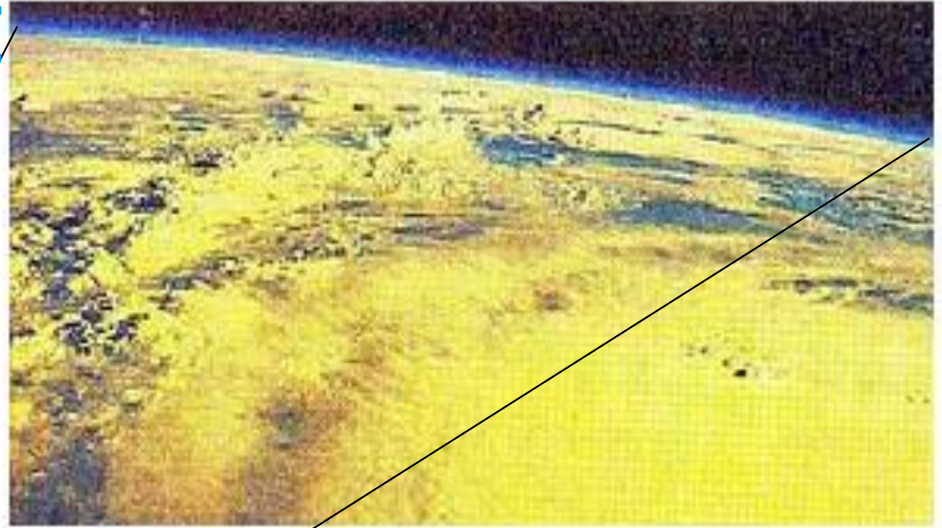


Espessura da atmosfera

Atmosfera ~30 km

~90% do peso
da atmosfera
em ~15 km

Fina camada
que mantém
toda a VIDA do
Planeta



Meteorology Today

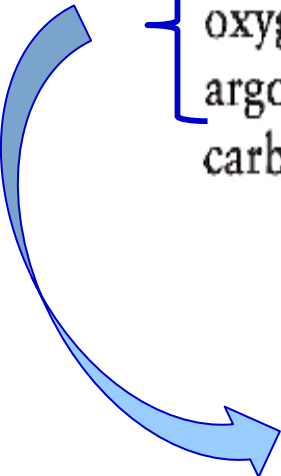
Raio da Terra ~6400 km



Região de
estudo da
química
atmosférica

Composição do ar seco ao nível do mar

Constituent	Molar mass* ($\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$)	Composition (%)	
		Volume	Mass
nitrogen, N_2	28.02	78.09	75.52
oxygen, O_2	32.00	20.95	23.14
argon, Ar	39.95	0.93	1.29
carbon dioxide, CO_2	44.01	0.03	0.05



99,97% da composição em volume
99,95% da composição em massa

Calcular a massa molar do ar atmosférico.

Atmosfera terrestre

Gas	Símbolo	Quantidade				
Nitrogênio	N ₂	78.08%	77.30%	76.52%	75.74%	74.96%
Oxigênio	O ₂	20.95%	20.74%	20.53%	20.32%	20.11%
vapor de água	H₂O	0%	1%	2%	3%	4%
Argônio	Ar	0.93%	0.92%	0.91%	0.90%	0.89%

Ar seco

Atmosfera terrestre

Composição do ar seco ao nível do mar.



Gases
majoritários

99,999%

vapor de água - H_2O 0-5%

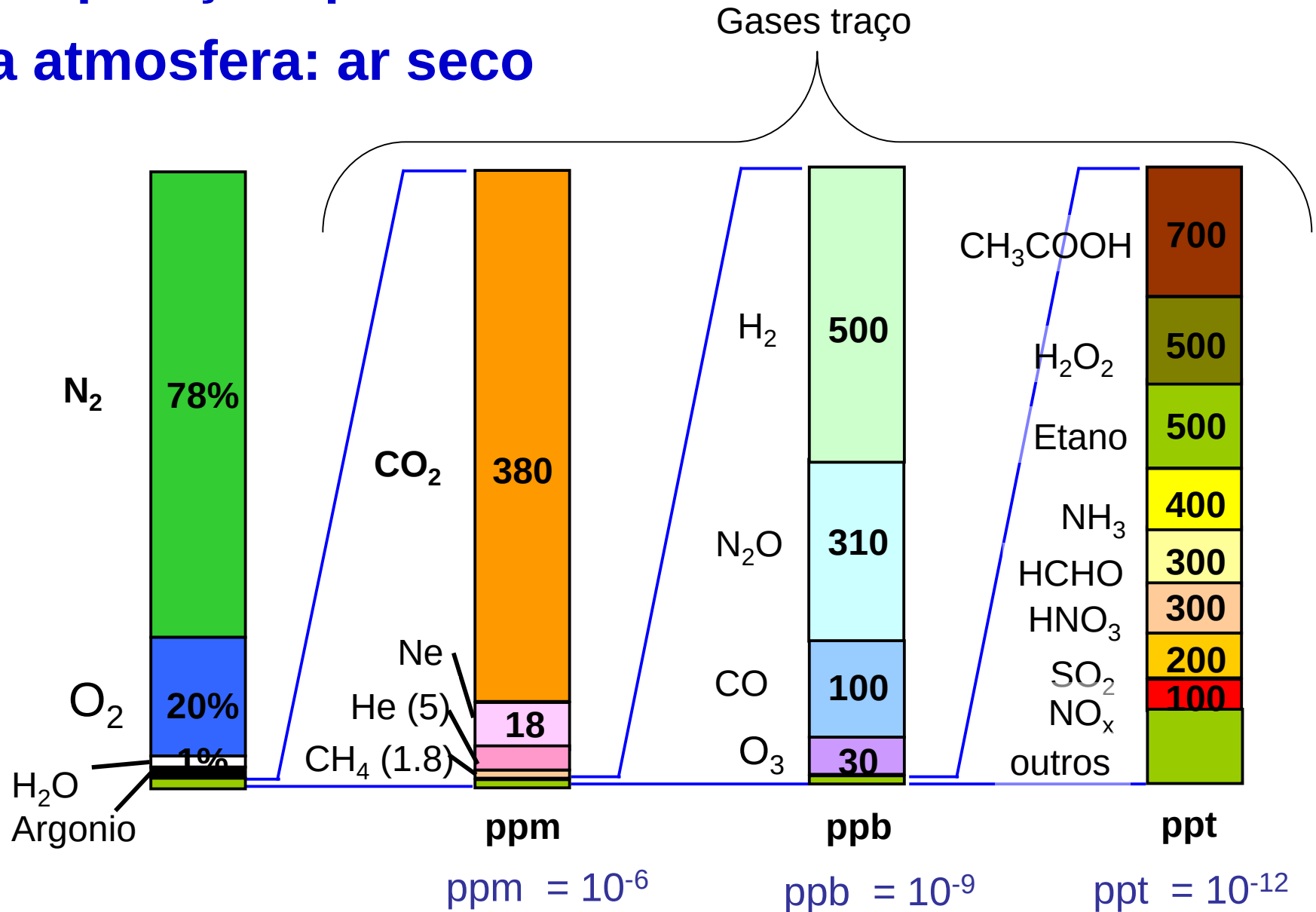
Material particulado 0,01 ppm

~ 10-20 $\mu g\ m^{-3}$

Gases
traço

Gás		% volume
Nitrogênio	N_2	78,084
Oxigênio	O_2	20,948
Argônio	Ar	0,934
<u>Dióxido de carbono</u>	CO_2	0,033*
Neônio	Ne	0,00182
Hidrogênio	H_2	0,0010
Hélio	He	0,00052
<u>Metano</u>	CH_4	0,0002*
Criptônio	Kr	0,0001
Monóxido de carbono	CO	0,00001*
Xenônio	Xe	0,000008
<u>Ozônio</u>	O_3	0,000002*
Amônia	NH_3	0,000001
Dióxido de nitrogênio	NO_2	0,0000001*
Dióxido de enxofre	SO_2	0,00000002*
<u>Óxido nitroso</u>	N_2O	0,00003*

Composição química da atmosfera: ar seco



Composição da atmosfera

- A atmosfera terrestre é afetada pela temperatura e pela pressão, bem como pela gravidade.
- As moléculas e os átomos mais leves são encontrados em altitudes maiores.
- Os dois componentes mais importantes da atmosfera são o nitrogênio, N_2 , e o oxigênio, O_2 .

- Os gases são altamente compressíveis e ocupam o volume total de seus recipientes.
- Quando um gás é submetido à pressão, seu volume diminui.
- Os gases sempre formam misturas homogêneas com outros gases.
- Os gases ocupam somente cerca de 0,1 % do volume de seus recipientes.

Atmosfera terrestre **permanente**: Composição do ar seco

Constituent	Formula	Percent by Volume	Molecular Weight
Nitrogen	N ₂	78.08	28.01
Oxygen	O ₂	20.95	32.00
Argon	Ar	0.93	39.95
Neon	Ne	0.002	20.18
Helium	He	0.0005	4.00
Krypton	Kr	0.0001	83.8
Xenon	Xe	0.00009	131.3
Hydrogen	H ₂	0.00005	2.02

Gases nobres Apresentam baixa reatividade, sendo até pouco tempo considerados inertes.

Gases permanentes representam a maior parte da massa atmosférica (99,999 %) e ocorrem em **proporção constante** em toda a atmosfera abaixo de 80 km.

Por causa de sua homogeneidade química, nesta região até cerca de 80 km da superfície da terra é chamada de **HOMOSFERA**.

Acima da homosfera está a

HETEROSFERA, onde gases leves (como hidrogênio e hélio) tornam-se predominante com o aumento da altitude.

Devido variação de sua composição com a altitude, a heterosfera não contém nenhum gás verdadeiramente permanente.

Divisão química

Do ponto de vista da concentração relativa dos gases, a atmosfera pode ser dividida em duas camadas: **homosfera e heterosfera**.

A homosfera até ~100 km da atmosfera, onde predominam o nitrogênio e oxigênio. Acima de 100 km, localiza-se a heterosfera.

Existe ainda, uma camada intermediária entre a homosfera e heterosfera que é denominada de turbopausa.

No limite superior da heterosfera, em torno de 500 km de altitude, está localizado o limite superior da atmosfera. A partir deste nível encontramos a *exosfera*.

Os gases que escapam continuamente da atmosfera ocupam a parte superior da heterosfera e, portanto, apresentam menor peso molecular: hidrogênio e hélio. Assim, a exosfera é a região de escape dos gases atmosféricos.

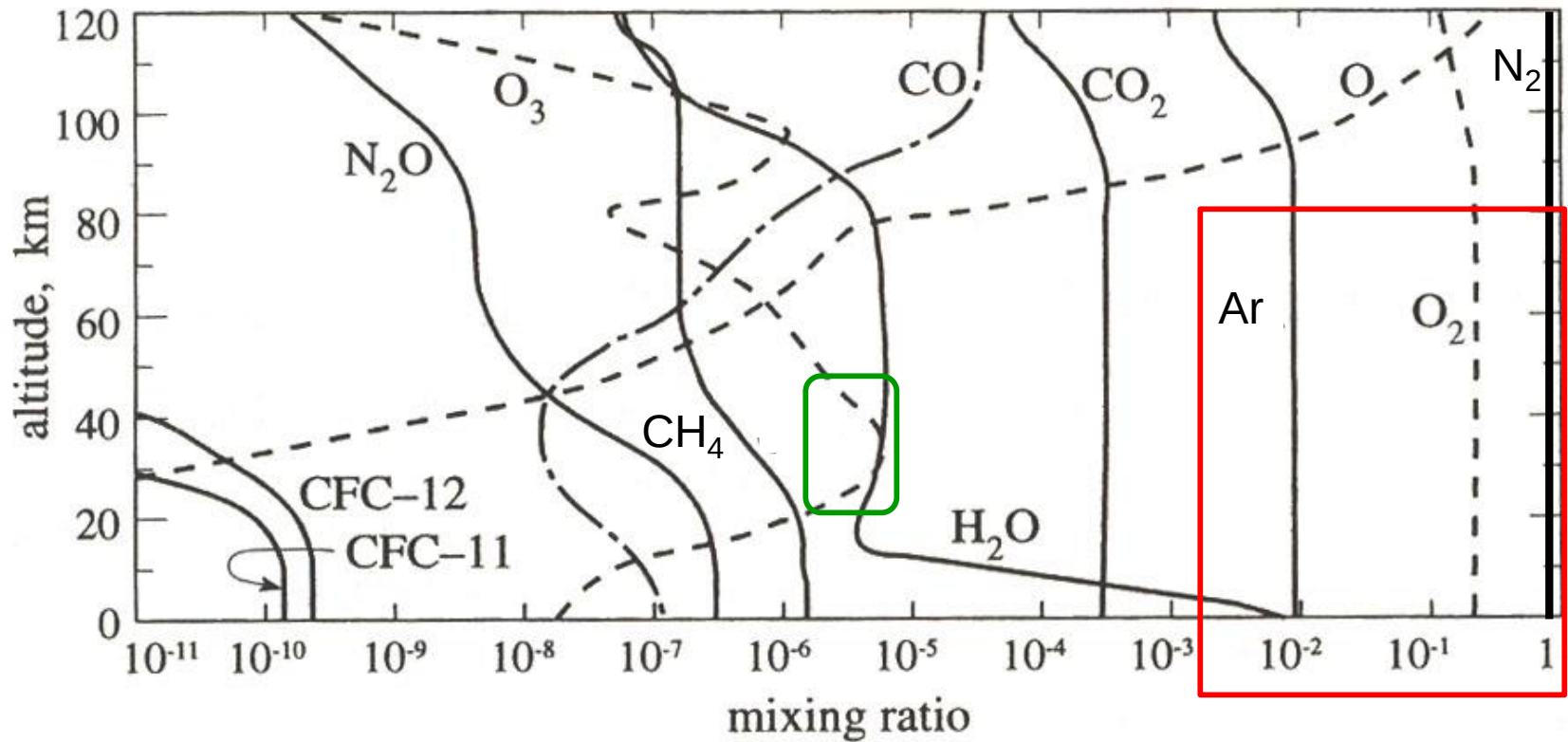
GASES VARIÁVEIS são aqueles cuja distribuição na atmosfera varia no tempo e no espaço.

O mais abundante dos gases variáveis, vapor de água, ocupa até cerca de 0,25% da massa total da atmosfera. O vapor de água é encontrado em maior abundância até 5 km da atmosfera, enquanto que o ozônio apresenta maiores concentrações entre 25 a 35 km de altitude.

GASES VARIÁVEIS até ~100 km de altitude

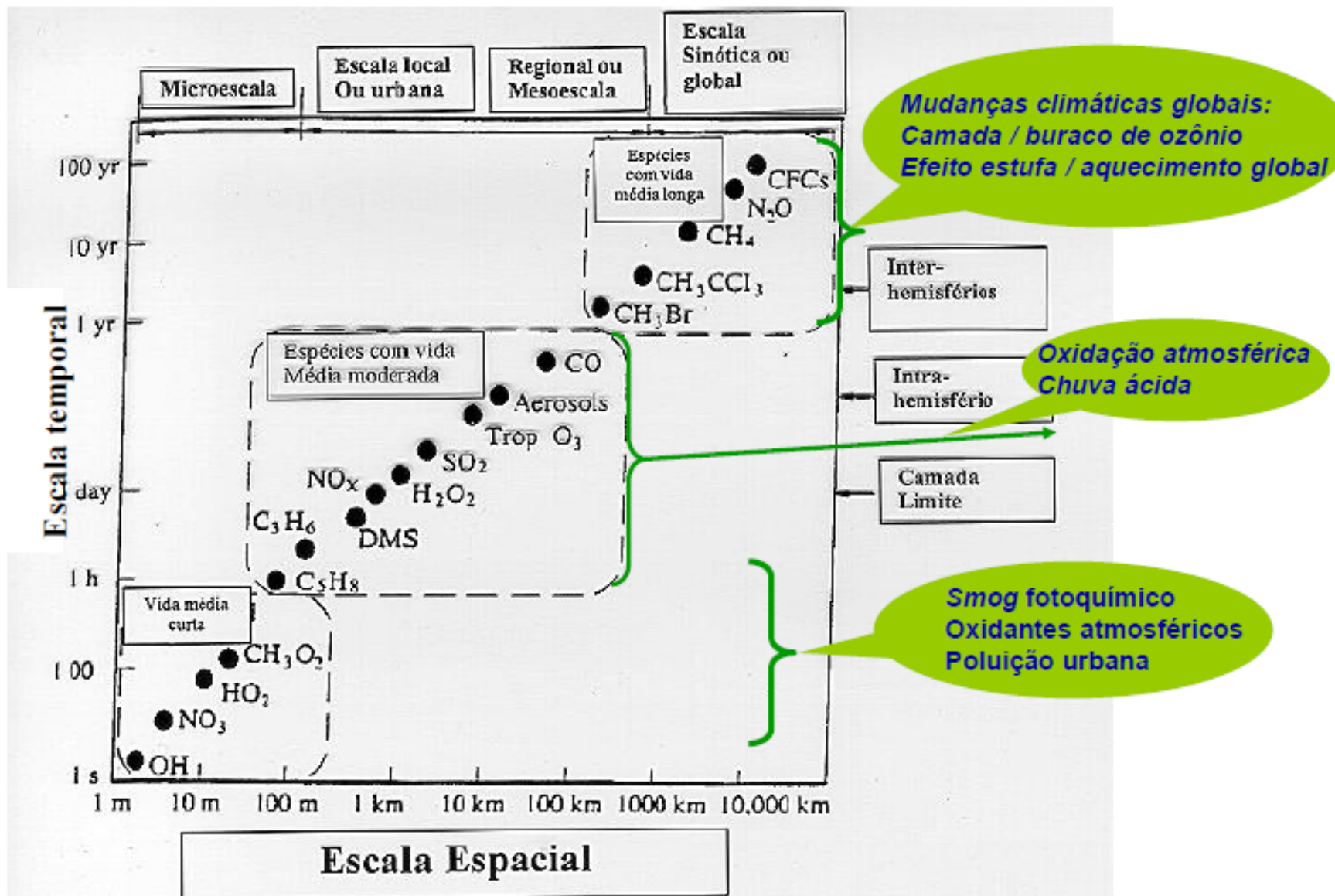
Constituent	Formula	Percent by Volume	Molecular Weight
Water Vapor	H ₂ O	0.25	18.01
Carbon Dioxide	CO ₂	0.036	44.01
Ozone	O ₃	0.01	48.00

Perfil de variação da razão de mistura de alguns gases atmosféricos com a altitude



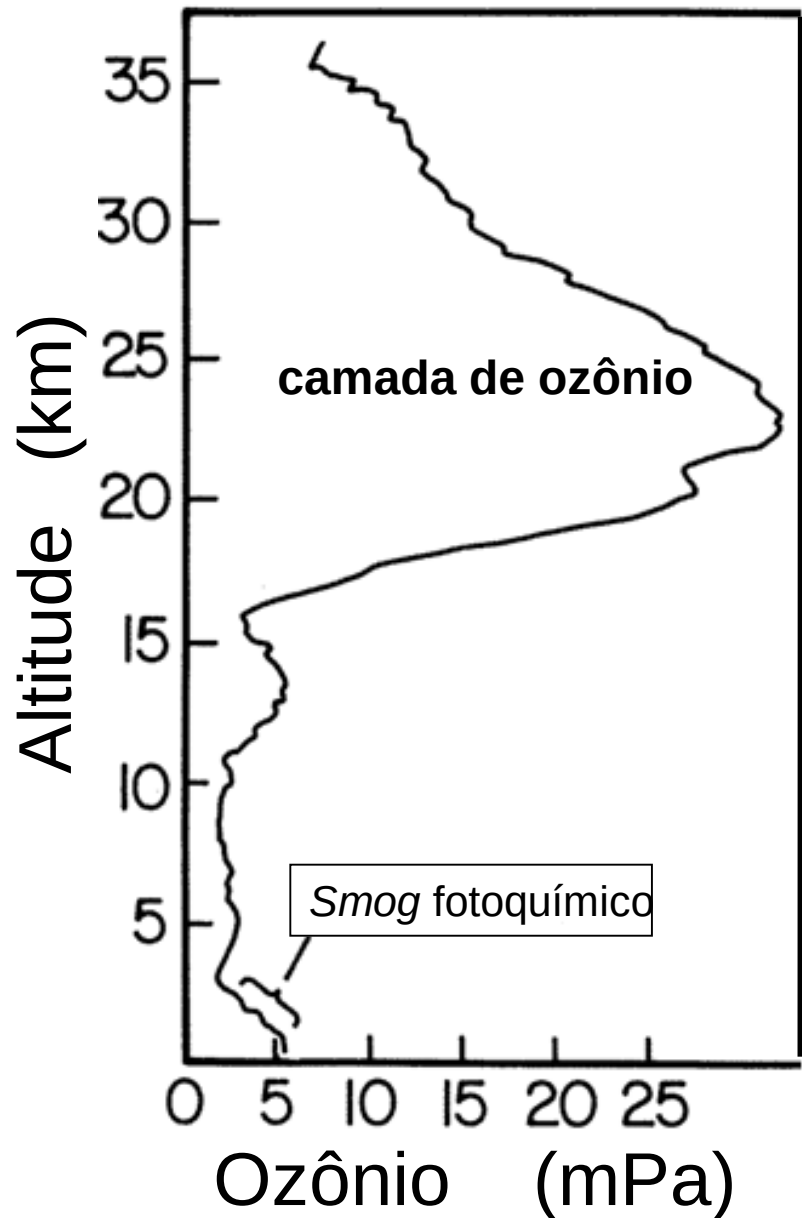
Região da
camada
de ozônio

Gases majoritários e/ou
permanentes
(homosfera até ~100km)



Escalas temporal e espacial da variabilidade dos
constituintes atmosféricos (Seinfeld e Pandis, 1998)

Ozônio atmosférico



Ozônio estratosférico

- ❑ 90% do ozônio atmosférico
- ❑ Papel benéfico: age como filtro de radiação UV
- ❑ Assuntos atuais:
 - Tendência global de diminuição
 - Buraco de ozônio todo ano na primavera na Antártica
 - Anos recentes perda de ozônio na primavera no Ártico

Ozônio troposférico

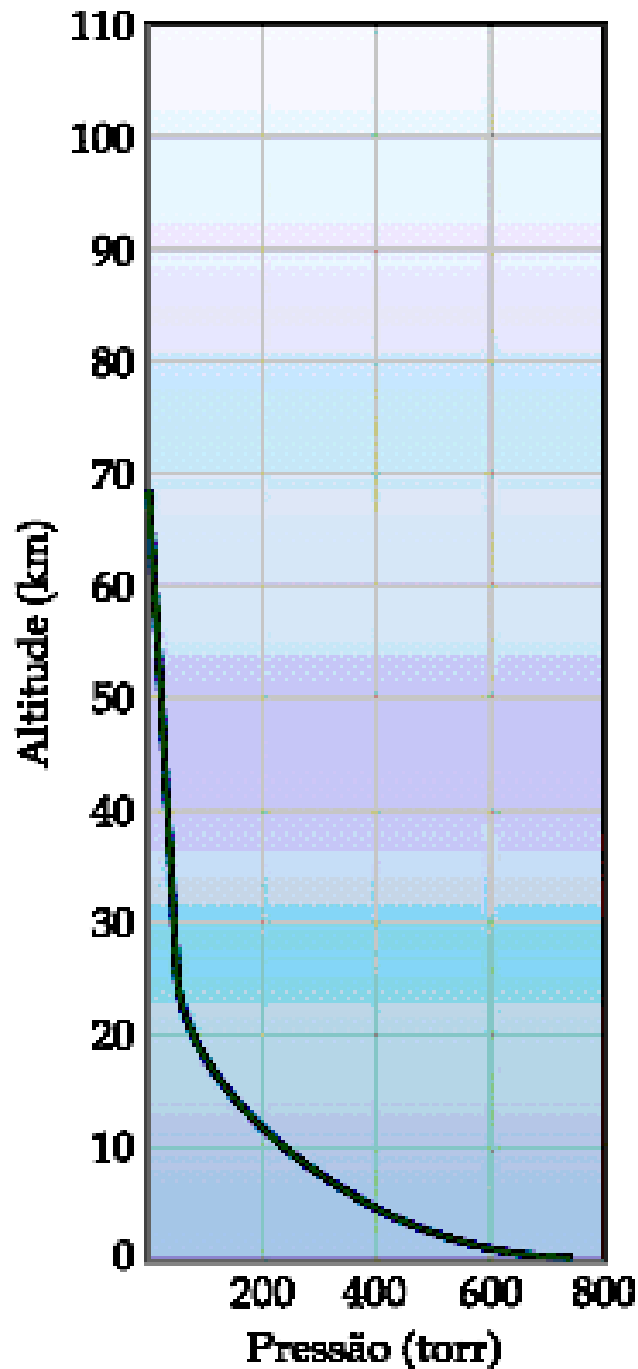
- ❑ Contém 10% do ozônio atmosférico
- ❑ Impacto negativo: efeitos tóxicos em humanos e vegetação
- ❑ Assuntos atuais:
 - Episódios de altas concentrações de ozônio em atmosfera urbana e rural

Substância no estado gasoso é definida por 4 qualidades:

- Volume
- Quantidade de matéria (mol)

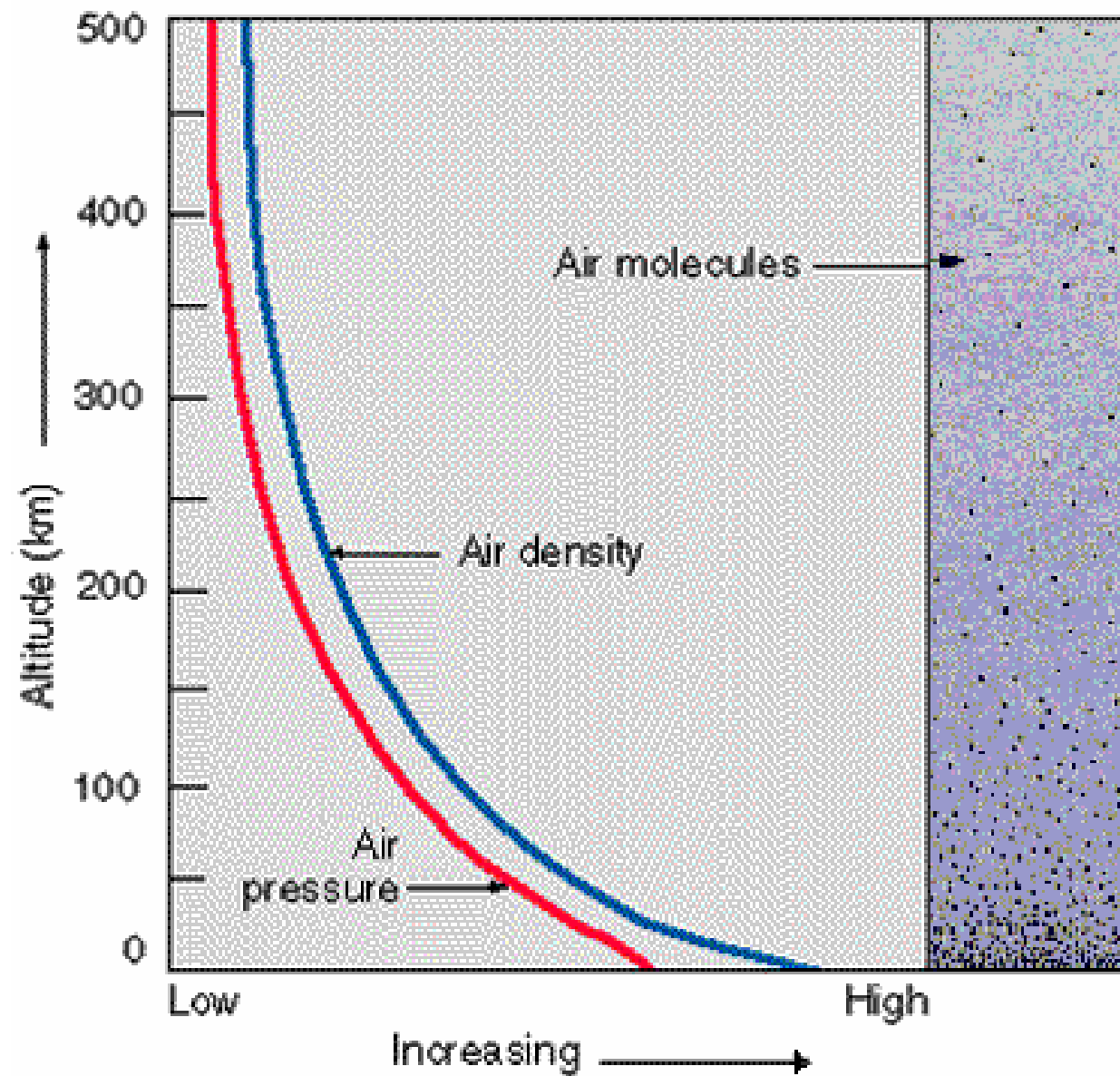
- Temperatura
- Pressão

} Na atmosfera?

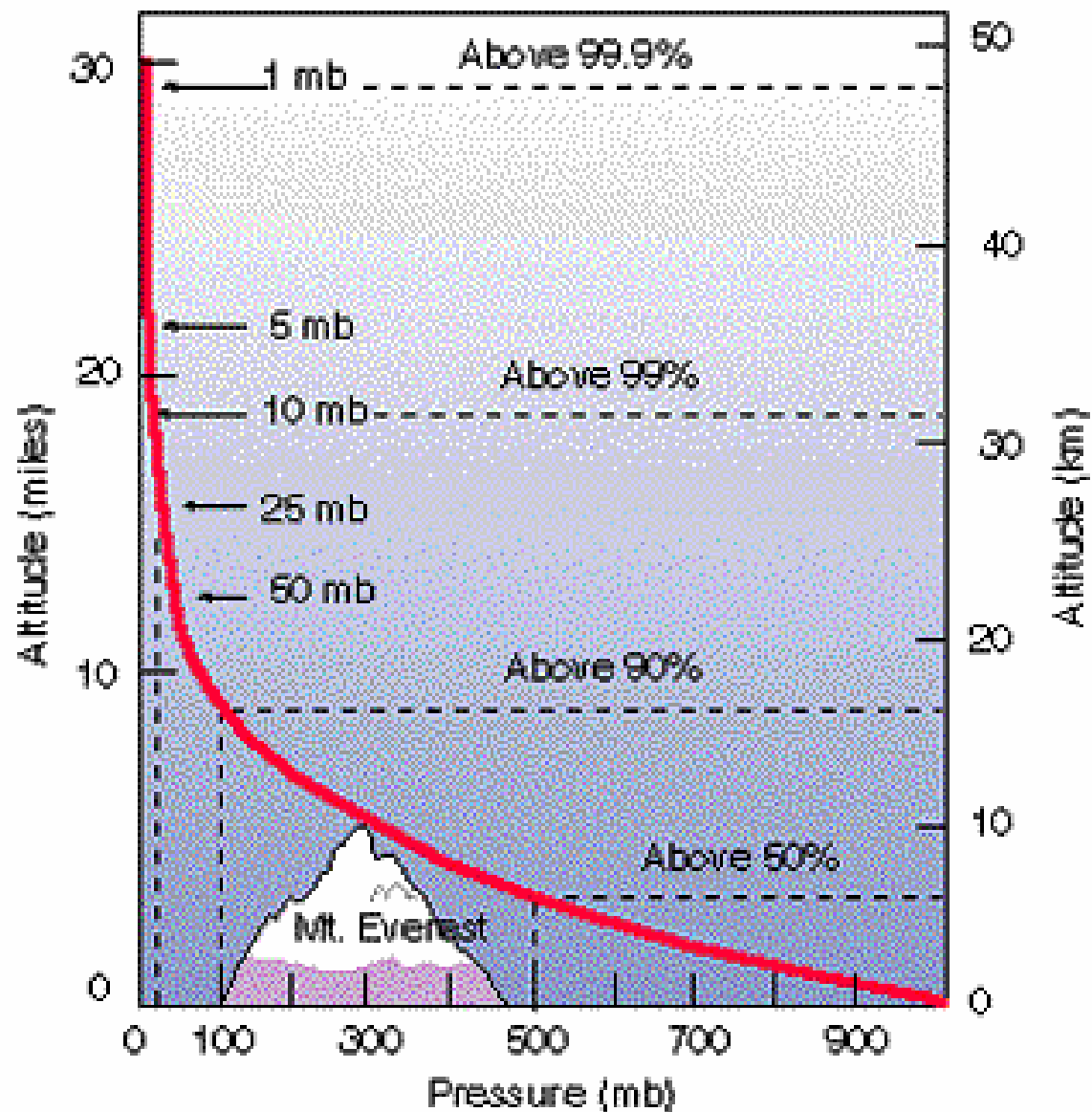


A pressão atmosférica diminui enquanto a altitude aumenta.

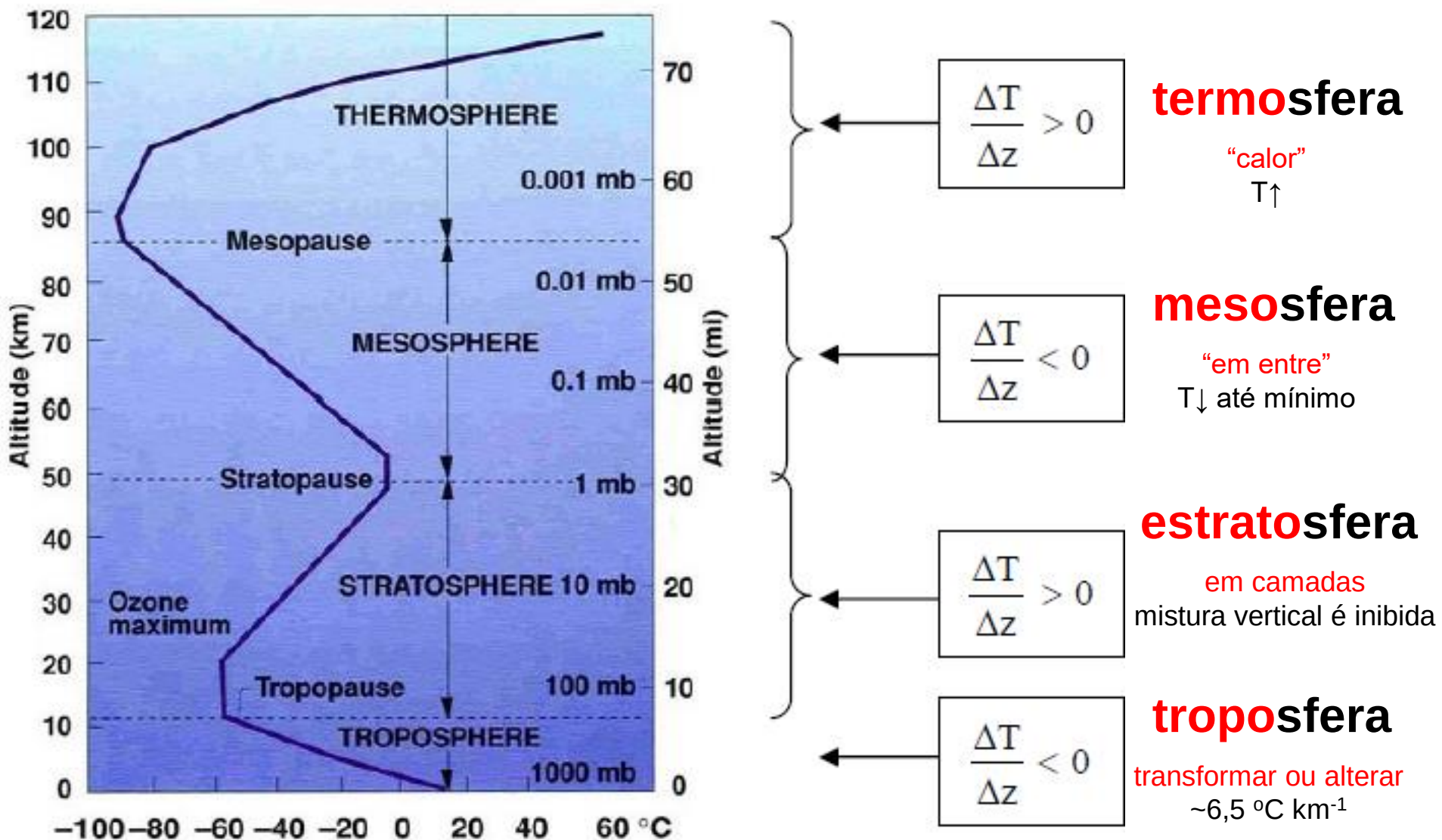
As quantidades relativas dos gases atmosféricos majoritários permanece constante até ~80Km mas, como indicado pela diminuição da pressão com o aumento da altitude (figura ao lado), a quantidade absoluta de cada gás diminui.



Distribuição vertical de massa na atmosfera. (Fonte: Meteorology Today)



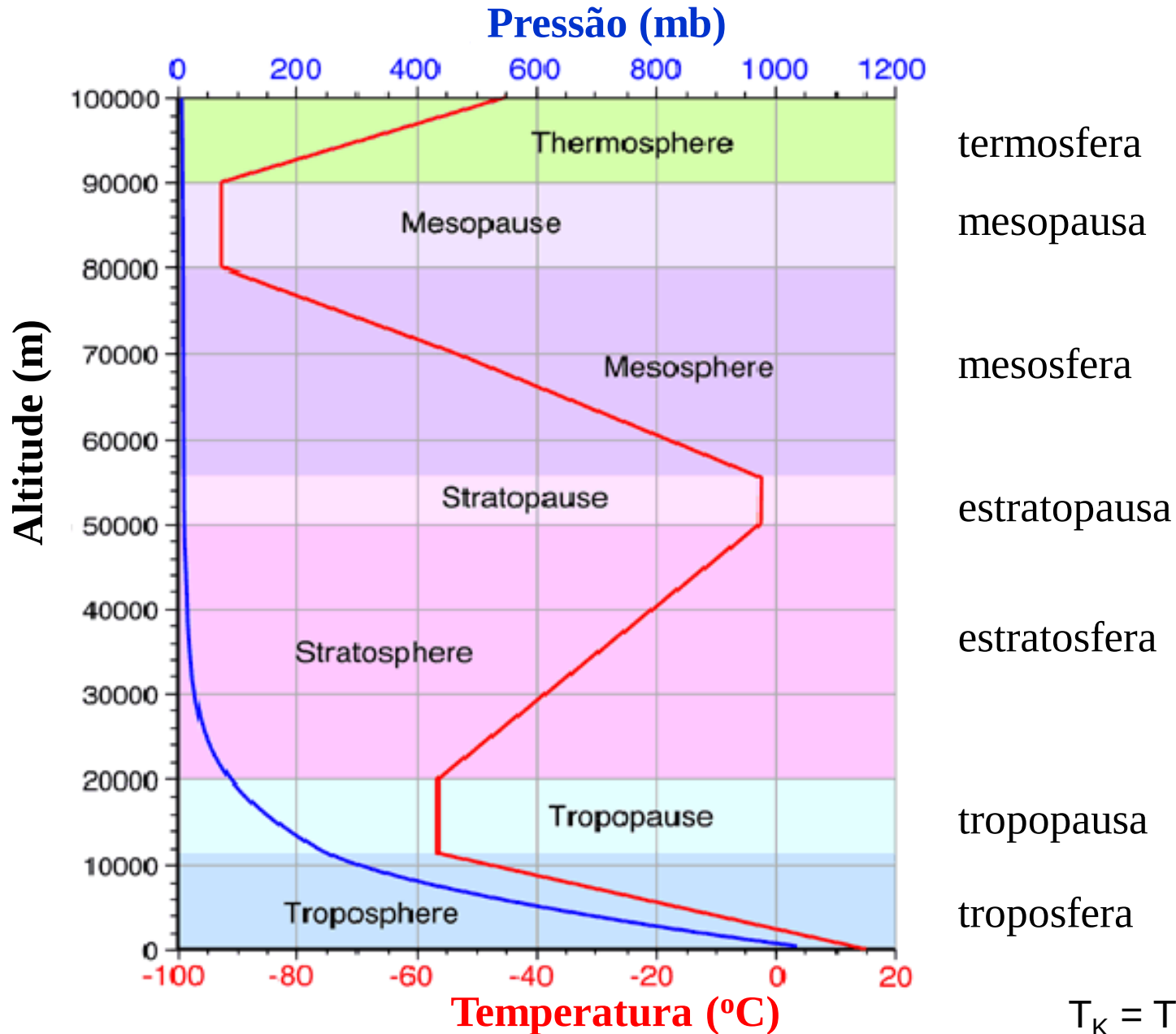
Variação da pressão do ar na atmosfera. (Fonte: Meteorology Today)



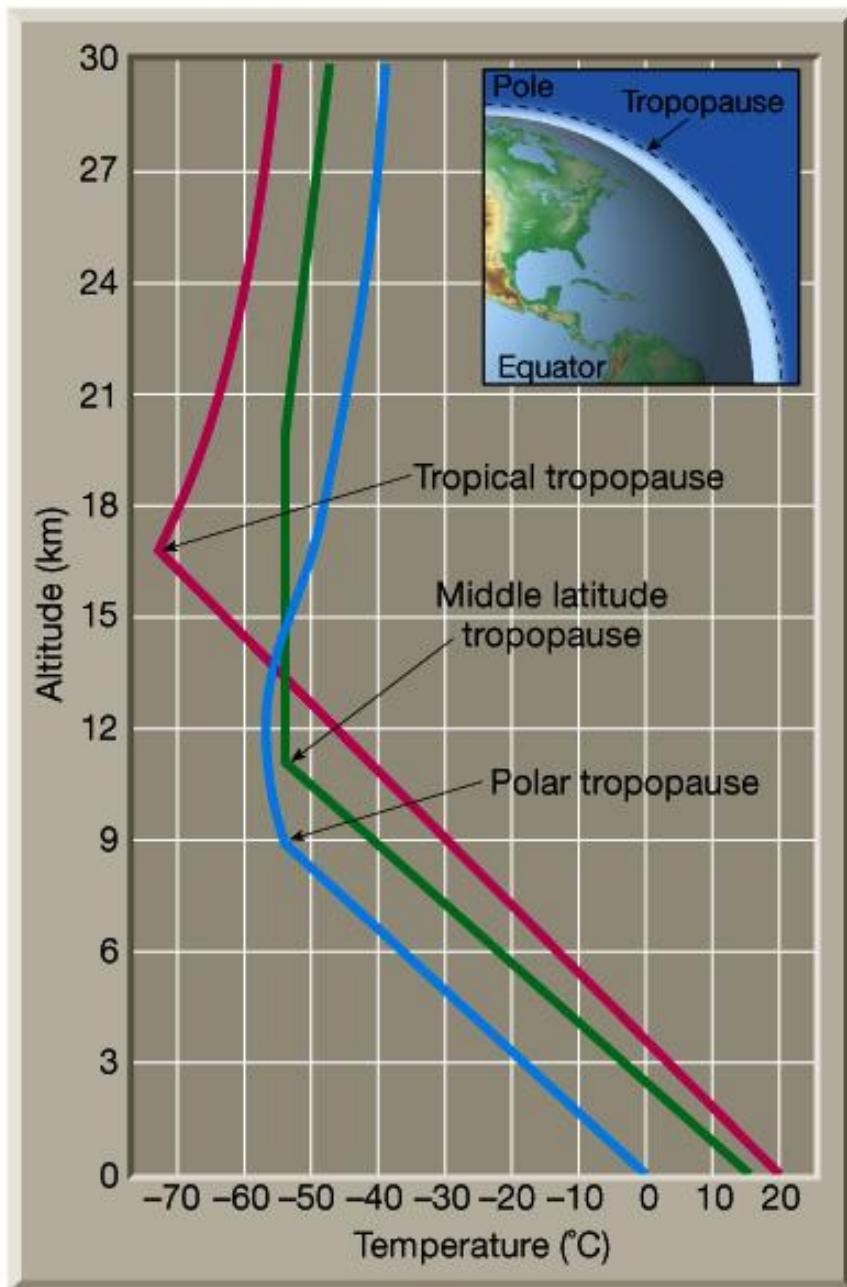
Perfil vertical de temperatura na atmosfera. (Fonte: Meteorology Today)

- Abaixo de uma altitude de 10 km (troposfera) a temperatura diminui de 290 K ($\sim 17^\circ\text{C}$) para 215 K ($\sim -58^\circ\text{C}$) enquanto a altitude aumenta.
- Na estratosfera (10 km - 50 km) a temperatura aumenta de 215 K para 275 K.
- Na mesosfera (50 km - 85 km) a temperatura diminui 275 K ($\sim -58^\circ\text{C}$) para 190 K ($\sim -83^\circ\text{C}$) e na termosfera (> 85 km) a temperatura aumenta.
- Aos limites entre as regiões são dados o sufixo *–pausa*.
- Há lenta mistura de gases entre as diferentes regiões na atmosfera.

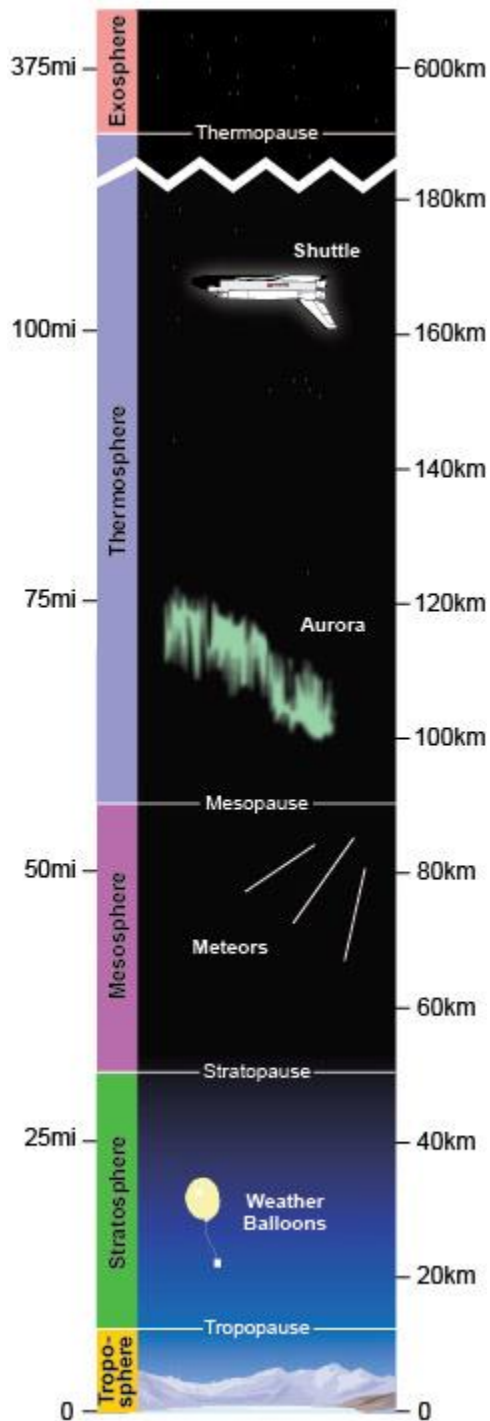
Estrutura vertical da temperatura e da pressão



$$T_K = T_C + 273,15$$

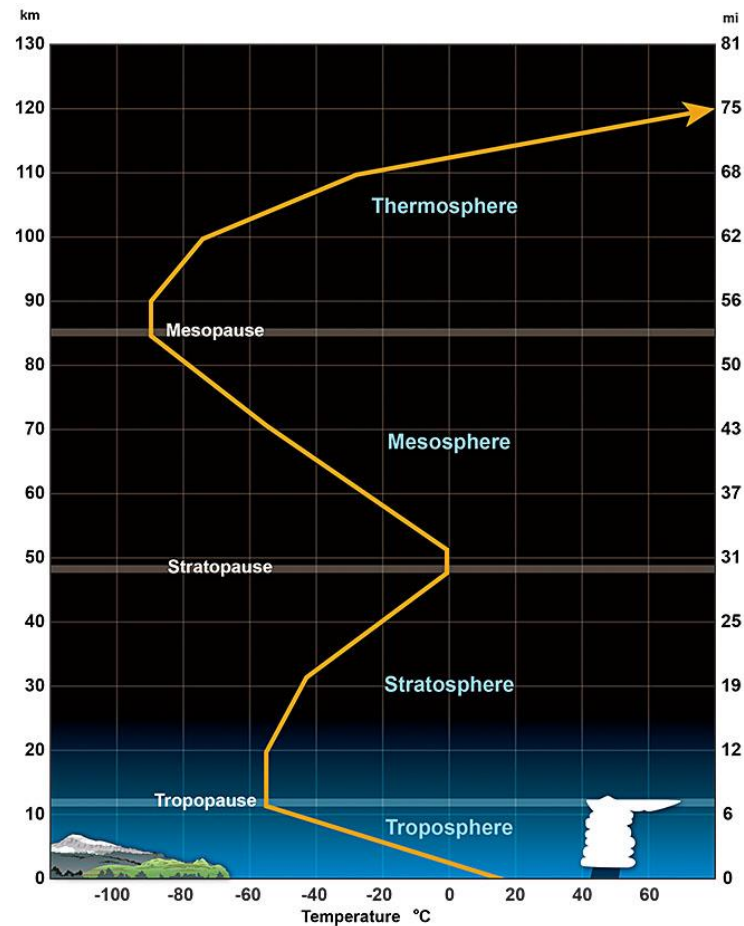


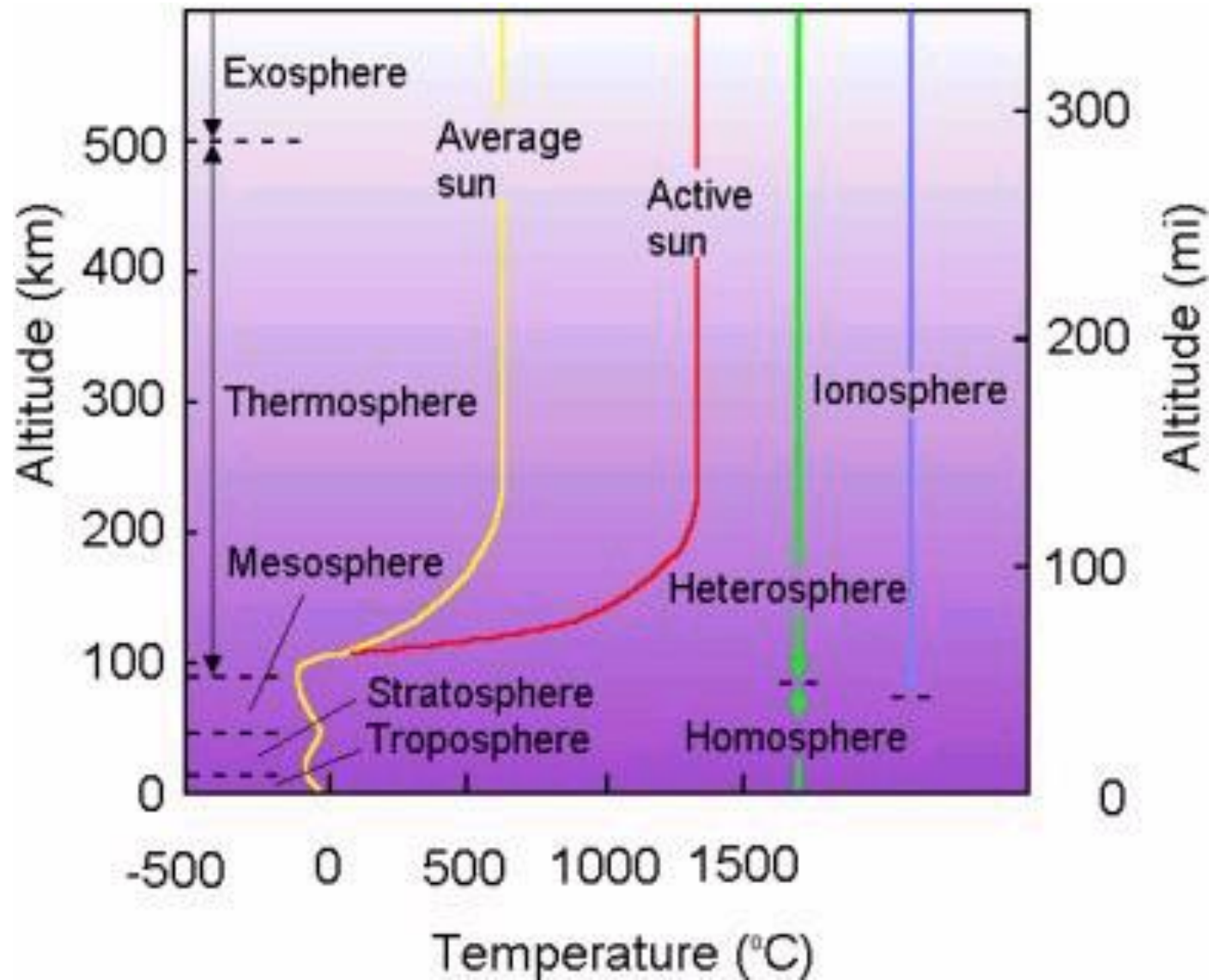
Estrutura atmosférica:
variação do perfil da
temperatura em
diferentes latitudes



Camadas da atmosfera: perfil de temperatura

<http://www.srh.noaa.gov/jetstream/atmos/layers.htm#ion>





Ionosfera

Altitude	densidade eletrônica		
Abaixo 90km	D	}	Entre essas regiões não existe necessariamente um mínimo, nem mudanças acentuadas de gradiente no perfil da concentração eletrônica
90-140 km	E		
Acima de 140 km	F		

A natureza dos íons positivos na ionosfera variam com altitude. Região entre 80 e 110km, existe relativamente grandes concentrações de hidrogênio e oxigênio atômicos, juntamente com espécies reativas OH, NO e O₃.

ionosfera



Airglow in Allier (FRANCE) during the night of 13 August 2015

Essas espécies reativas participam de grande variedade de processos químicos, que levam a formação de produtos em estados excitados, com consequente emissão de fraca mas detectável luminescência $\Rightarrow$ principal componente do **AIRGLOW**, luz emitida para atmosfera como resultado de processos fotoquímicos.



Airglow over the Very Large Telescope (VLT) platform, European Southern Observatory.

$\neq$ **AURORA** $\Rightarrow$ emissão muito mais intensa, resultado do bombeamento da atmosfera por elétrons e prótons provenientes do Sol. Ocorre principalmente nos polos magnéticos.



Exemplos de compostos presentes nas diferentes fases atmosféricas

Fase gasosa

NO óxido de nitrogênio

NO₂ dióxido de nitrogênio

NH₃ amônia

N₂O₅ pentóxido de dinitrogênio

HNO₃ ácido nítrico (vapor)

SO₂ dióxido de enxofre

MOP (POM) matéria orgânica policíclica

HPA (PAH) hidrocarbonetos policíclicos aromáticos

Hg²⁺ íon mercúrio

Hg⁰ mercúrio elementar

PCBs bifenilas policlorinadas (pesticidas em geral)

D/F dioxinas/furanos

Exemplos de compostos presentes nas diferentes fases atmosféricas

Fase particulada (poeiras, aerossóis)

NH_4^+ íon amônio

NO_3^- íon nitrato

Compostos nitrogenados orgânicos

H_2SO_4 ácido sulfúrico

SO_4^{2-} íon sulfato

Hg^{2+} íon mercúrio

HgCl_2 cloreto de mercúrio

HgO óxido de mercúrio

Hg^0 mercúrio elementar

Pb chumbo

Cd cádmio

PCBs bifenilas policlorinadas

D/F dioxinas/furanos

MOP (POM) matéria orgânica policíclica

Fase aquosa

NO_3^- íon nitrato

NH_4^+ íon amônio

Compostos nitrogenados orgânicos

SO_4^{2-} sulfato

HSO_3^- bisulfeto

SO_3^{2-} sulfeto

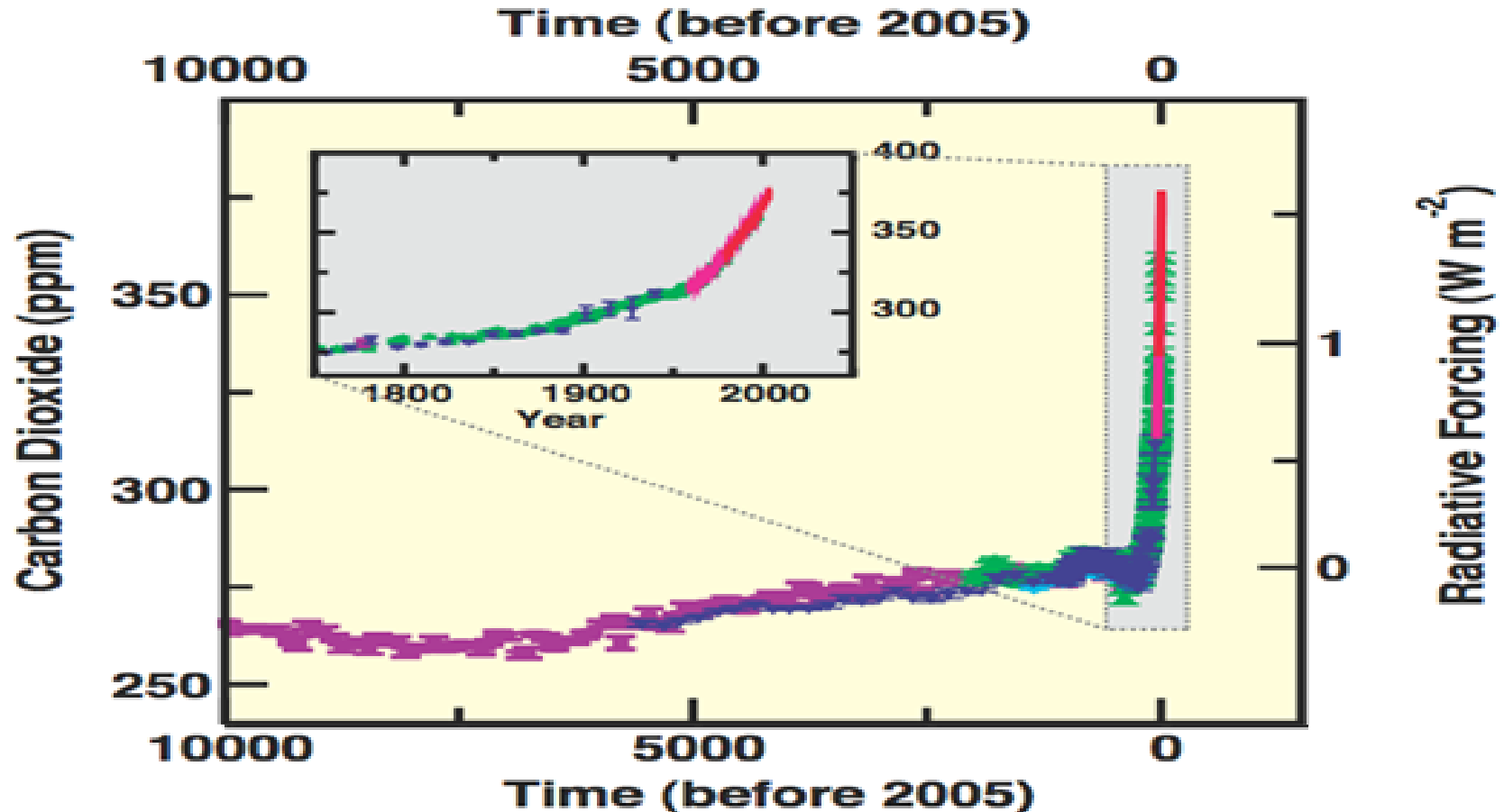
Atrazina, alaclor,

cianazina (herbicidas) e produtos de degradação

PCBs bifenilas policlorinadas

Aumento da concentração atmosférica do CO₂ nos últimos 1000 anos

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) document, 2007



Unidades de concentração: partes por milhão (ppm)
Número de moléculas de CO₂ por 10⁶ moléculas de ar

Concentração de CO₂ é medida como razão de mistura

Processos físicos na atmosfera: emissão, deposição, transporte de massas de ar

