

MÓDULO 02

POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA: Química da Estratosfera e a Camada de Ozônio

EIXO: MEIO AMBIENTE/ SAÚDE

Prof. ZÉ HELCIO, 2021.2

Junho 2022

Introdução:

“A Terra é azul
e redonda!”

O que representa para o mundo a data de 22 de abril, desde 1970?

“O Dia da Terra”

[Clique aqui para saber mais](#) (EcoDEBATE, 22/04/2020)

Sobre a COP 26 em 2021...

Conferência das Nações sobre a Mudança do Clima

[Clique aqui para saber mais sobre este evento](#)

[Clique aqui para entender o perigo da crise climática global](#)

Discurso do Secretário-geral da ONU,
António Guterres no Dia da Terra:

<https://news.un.org/pt/>

Assista o vídeo:

<https://www.youtube.com/watch?v=ghcghqnmX6s&t=67s>

“A Terra é azul
e redonda!”



Yuri Gagarin

“Ela é azul!”
(1961)

Vostok





Raio da Terra
= 6.370 km

Circunferência da Terra
= 40.030 km

Vista da Apollo 11 (1969)

A atmosfera

As Camadas da Atmosfera

EXOSFERA

10.000 km

.....

700 km

TERMOSFERA



85 km

MESOSFERA

50 km

ESTRATOSFERA



15 km

TROPOSFERA

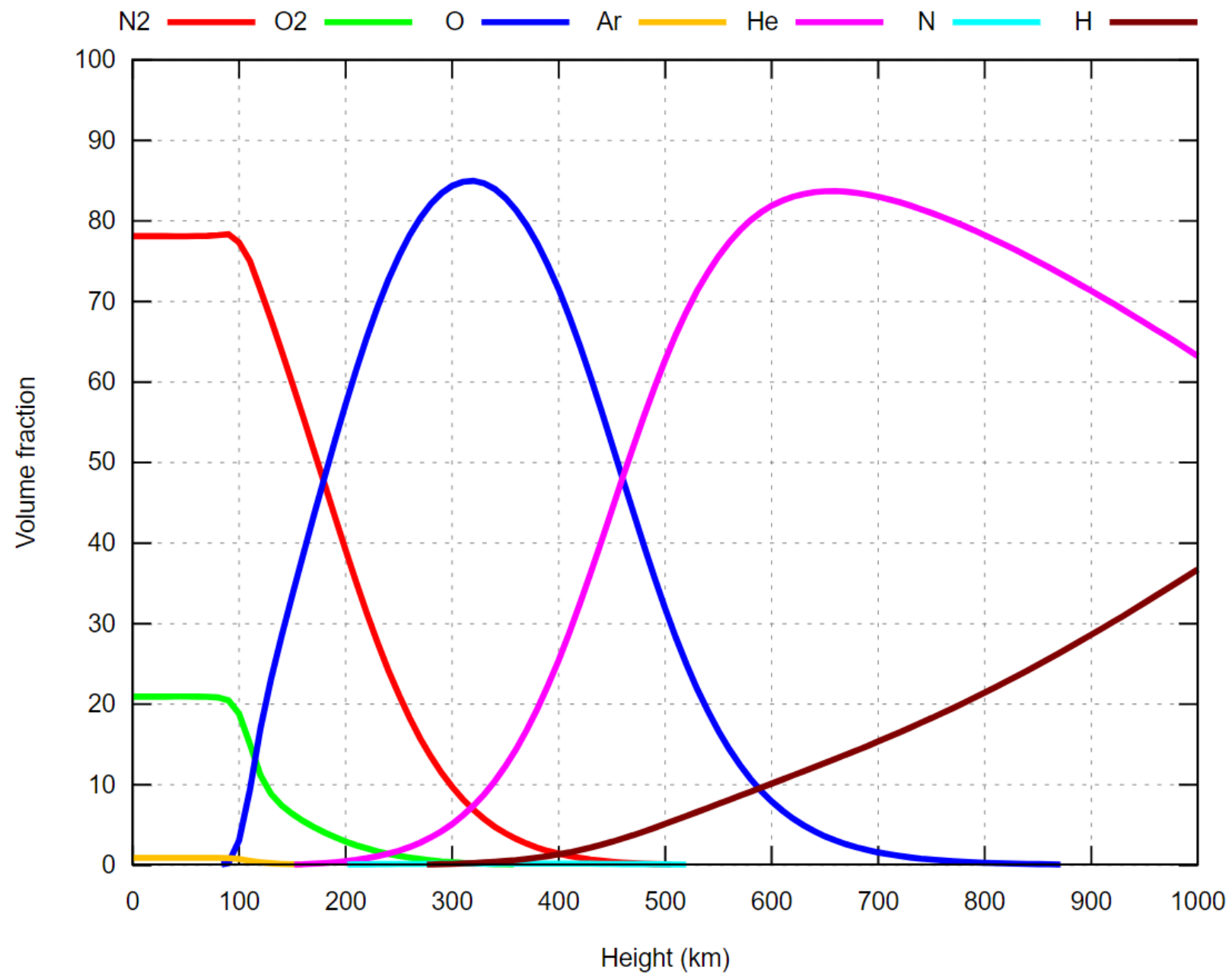


0 km

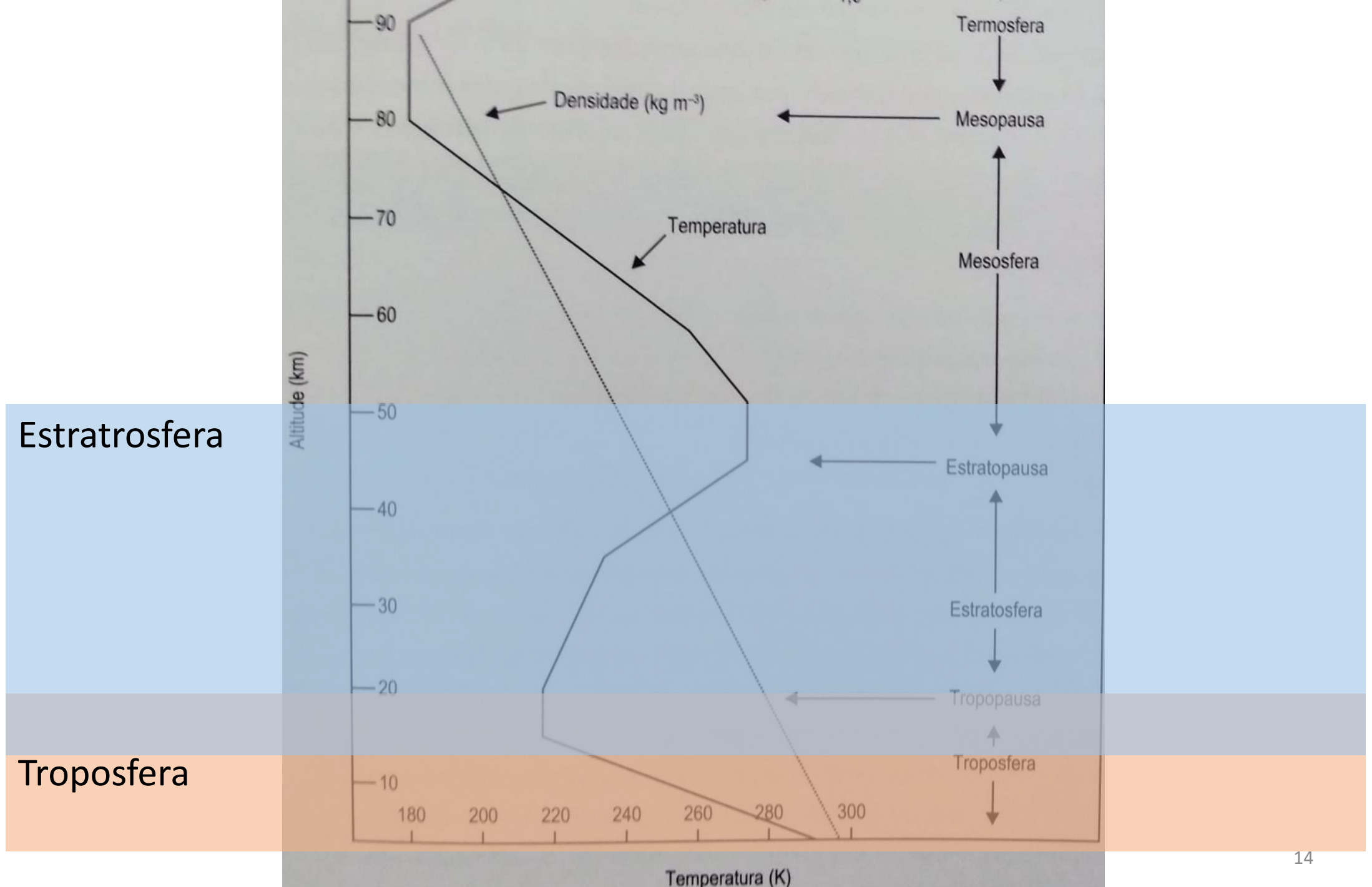
A COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA ATMOSFERA*

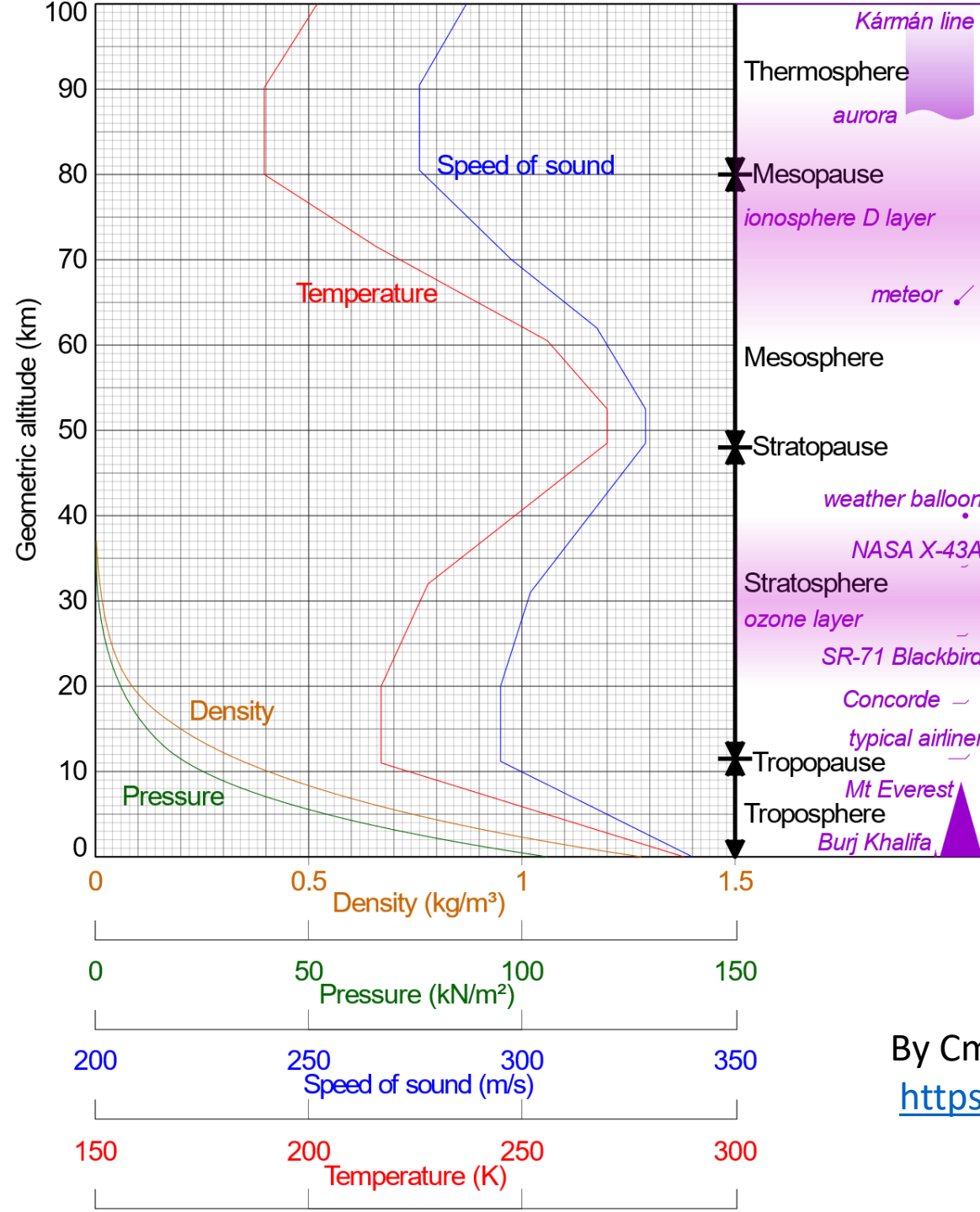
- principais gases (naturais): N_2 (78%), O_2 (21%)
- gases ~1% (naturais): Ar (1%), H_2O (variável: 0 – 1%)
- gases /traços <<1% (naturais e antropogênicos):
 CO_2 , O_3 , CH_4 , NO_x , N_2O , NO, OH, SO_x , CO, Cl, O, N, H, He, aerossóis, ...
- Materiais particulados

*A composição da atmosfera é praticamente a composição da troposfera mais a estratosfera, pois a densidade do ar decai rapidamente com a altitude, e já a 50 km de altitude (final da estratosfera) é cerca de 1/1000 da densidade ao nível do mar.



A variação da temperatura na atmosfera





A densidade do ar decai rapidamente com a altitude (mas não de forma linear), e chega quase a zero a 50 km de (final da estratosfera).

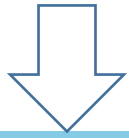
A densidade tem uma relação direta com pressão!

By Cmglee - Own work, CC BY-SA 3.0

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=17311330>

A poluição atmosférica e os problemas climáticos (Parte 1: M02)

*Fenômeno
Natural:*



**Camada
de ozônio**

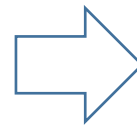


*Desafio
Ambiental:*



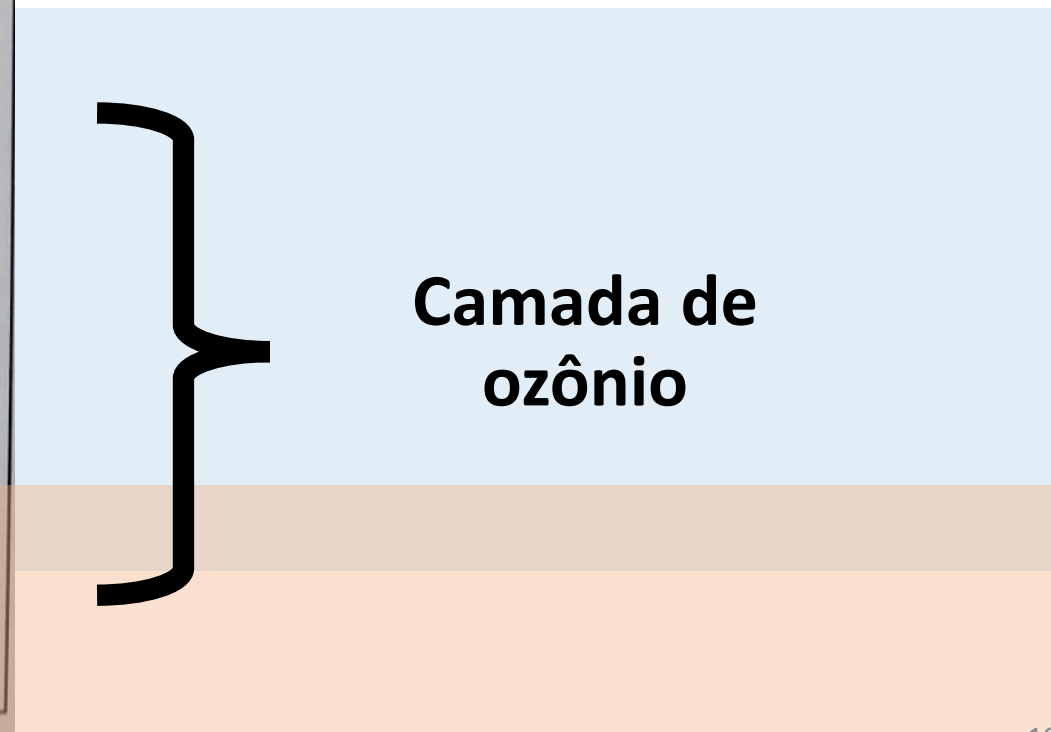
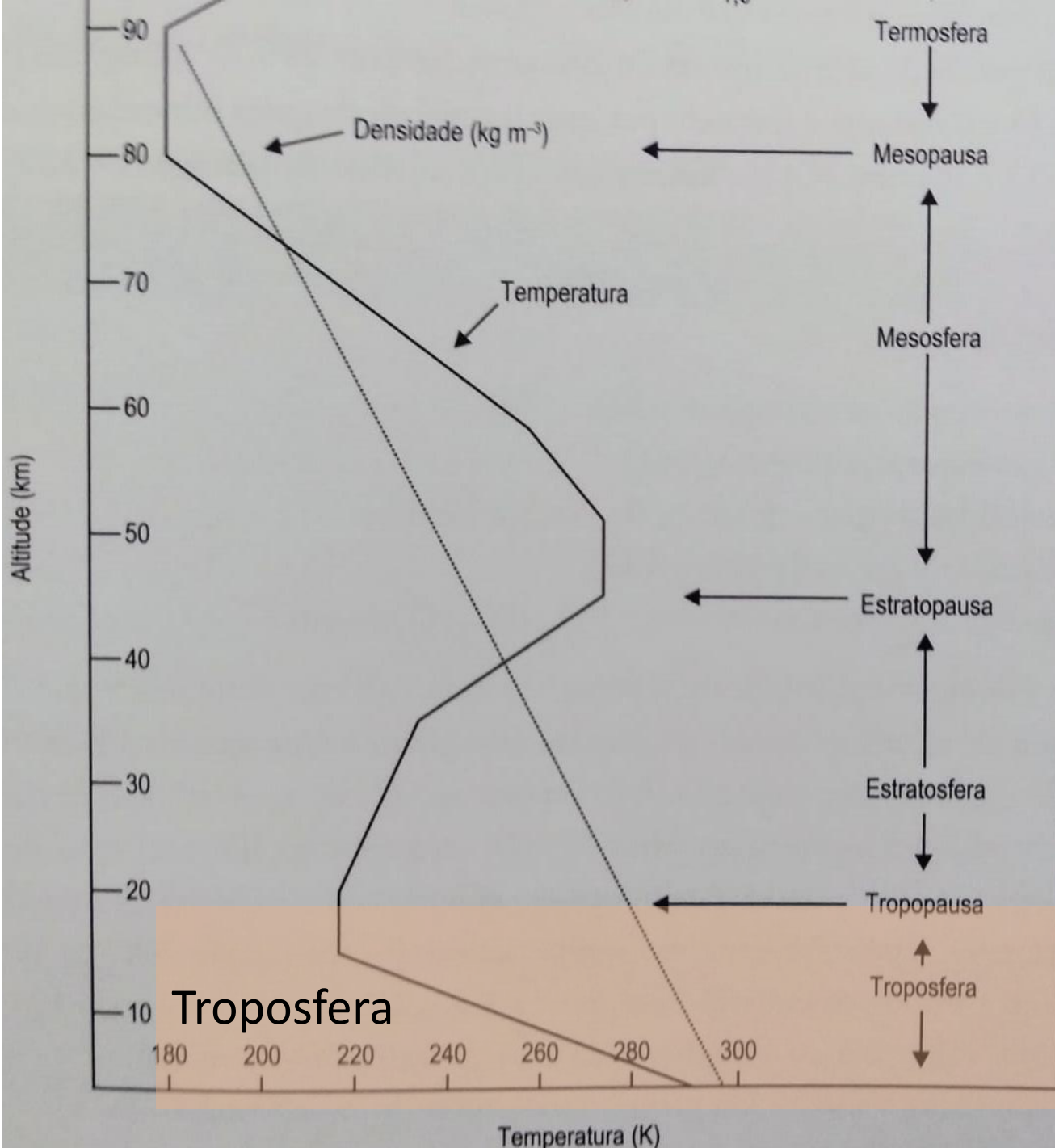
**Depleção da
camada de ozônio**

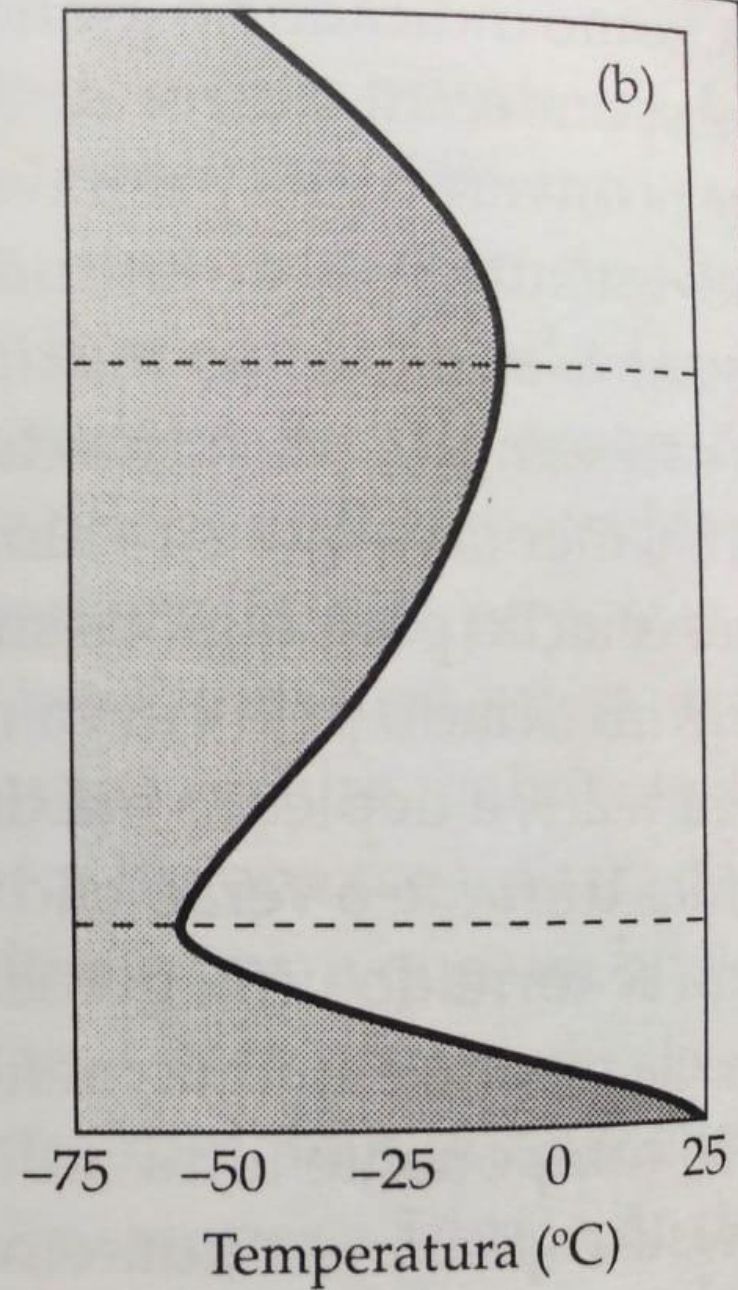
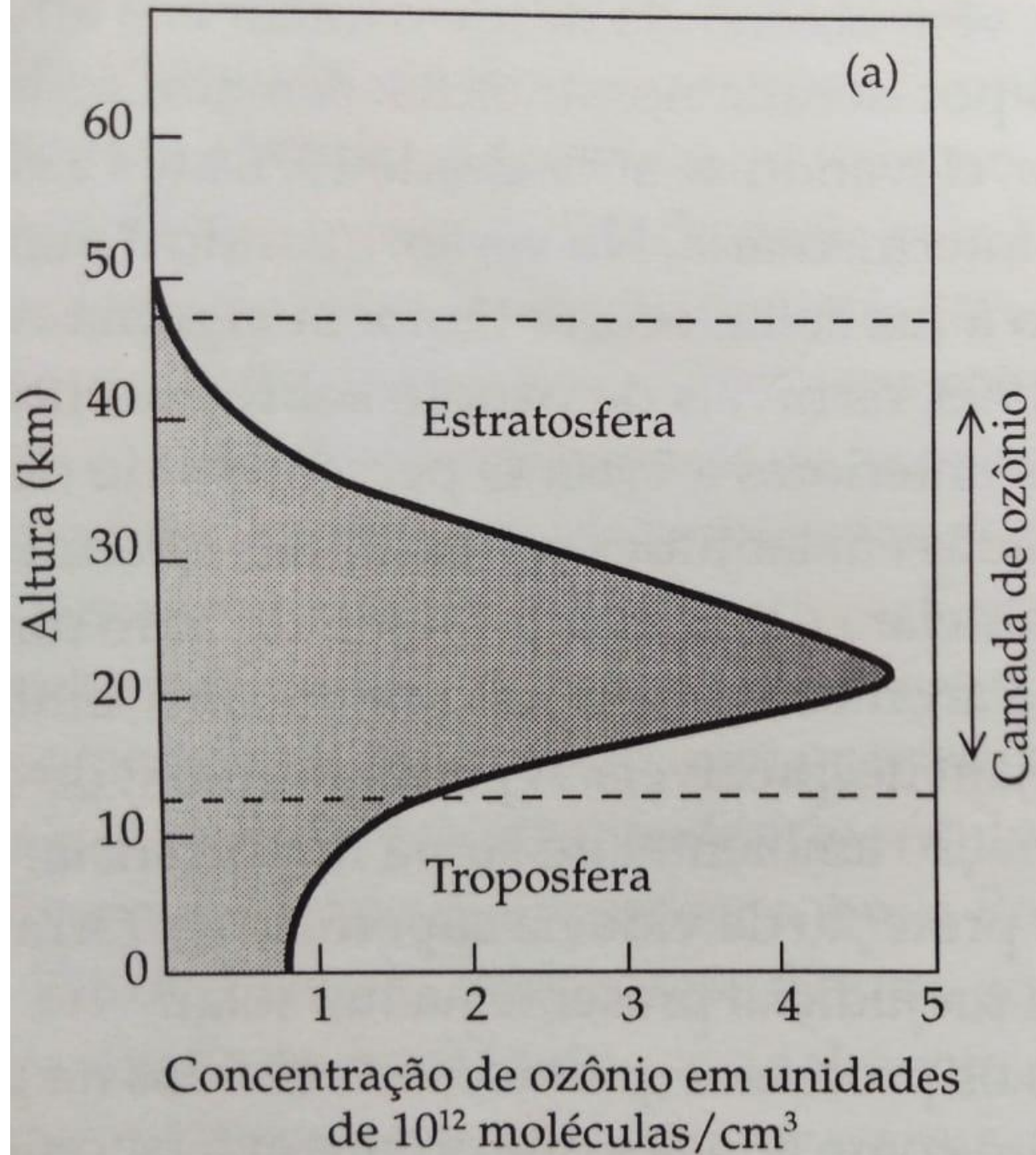
*Efeito
estufa*



*Aquecimento
global*

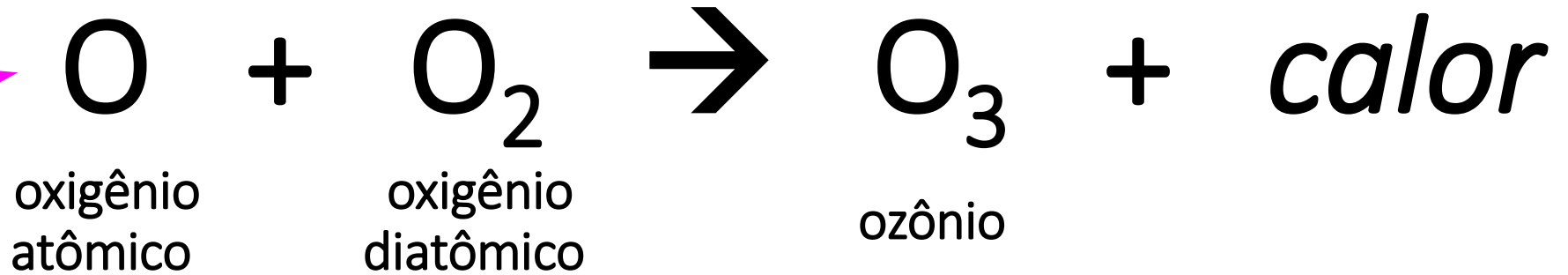
A Camada de Ozônio



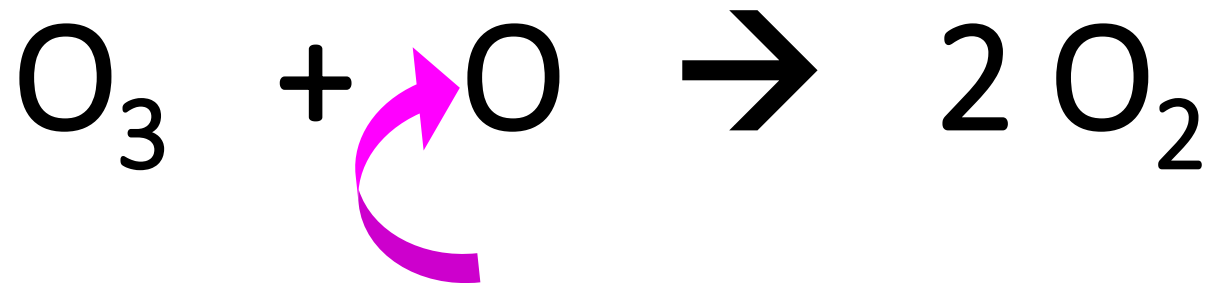


A química atmosférica do ozônio, temperatura e o papel da radiação solar

A formação *natural* do ozônio



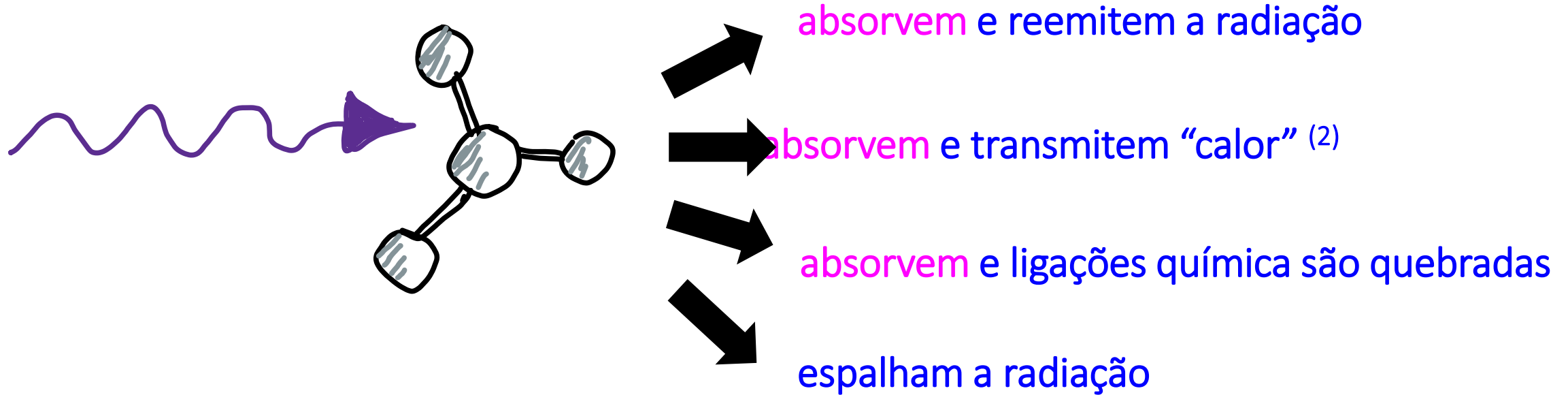
A decomposição *natural* do ozônio



Qual a origem do oxigênio atômico?

Moléculas interagem com a radiação eletromagnética!

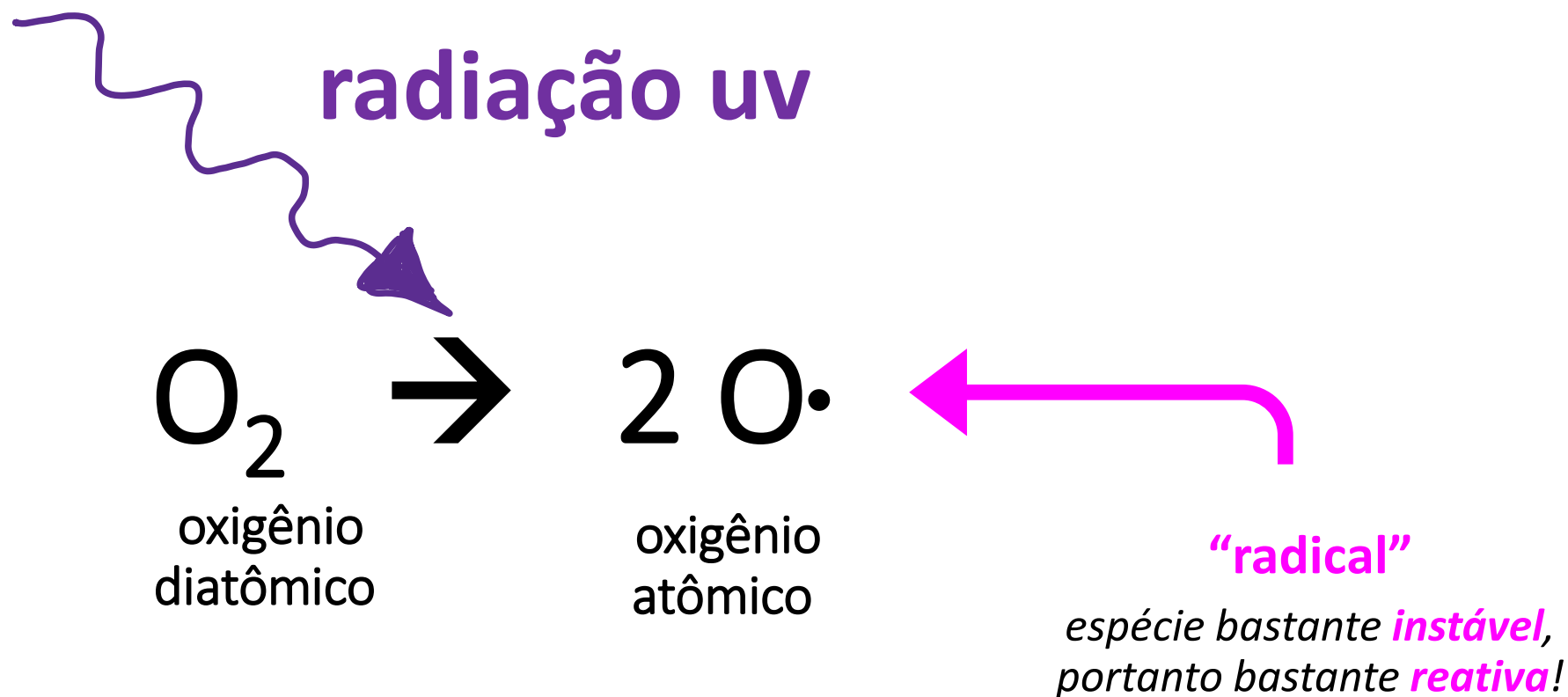
... e podem produzir diferentes efeitos⁽¹⁾:



- (1) Existem outros efeitos, como ionização, por exemplo.
- (2) Calor é transferido para o meio quando a molécula está em fase condensada; No vácuo, pode apenas converter a energia absorvida em energias cinéticas vibracionais, rotacionais ou translacionais.
- (3) Alguns desses processos podem ocorrer concomitantemente.

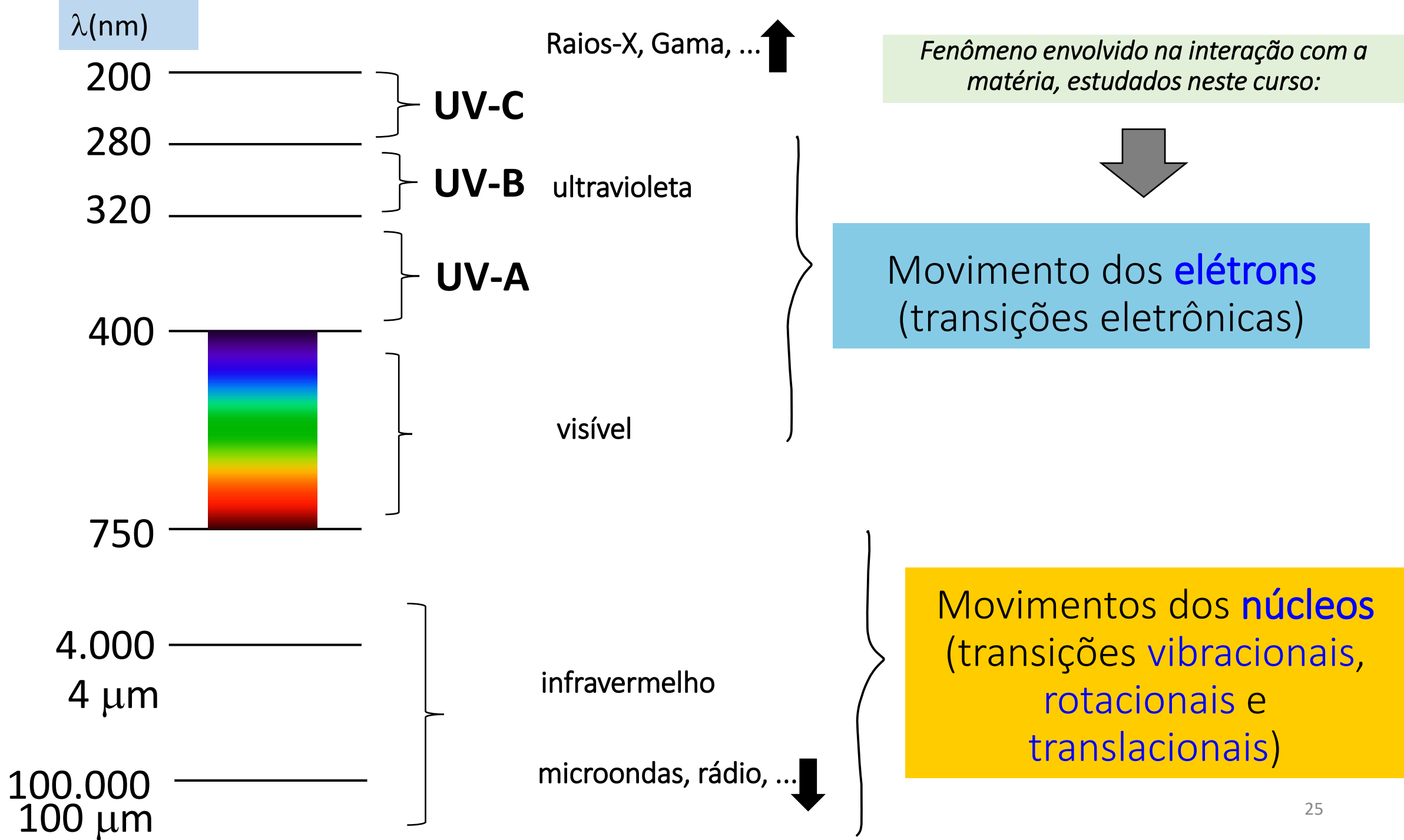
➡ *Para compreender um pouco sobre radiação eletromagnética consulte a seção de **conceito chave** “o espectro eletromagnético”, logo mais a frente.*

O **oxigênio atômico** resulta da *fotodecomposição* do O_2 :

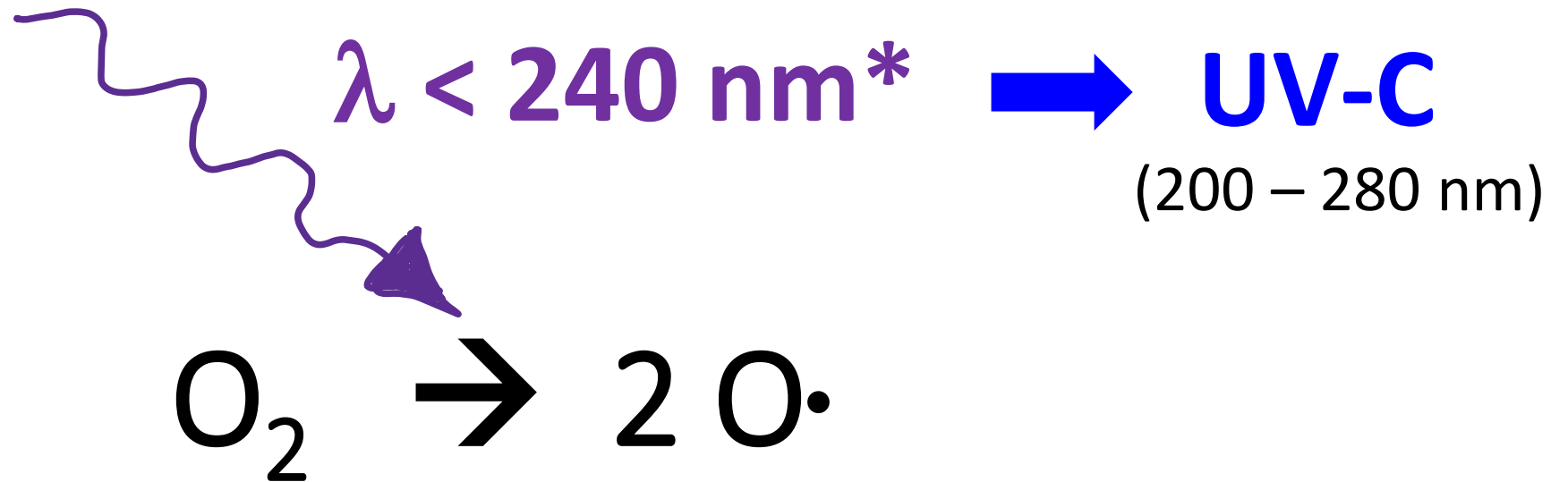


➡ Para compreender a estabilidade molecular do ozônio, revisar o significado de **ligação covalente**, consulte a seção de **conceito chave** “**estrutura molecular e eletrônica**”.

ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO



Comprimento de onda da *foto*decomposição do O₂:



***obs:** a energia *mínima* necessária para quebrar uma ligação O-O é de 498,4 kJ mol⁻¹, o que equivale a um fóton de 240 nm. Portanto, qualquer radiação com λ menor que 250 nm irá dissociar o O₂.

Os espectros de absorção UV do O_2 e do O_3

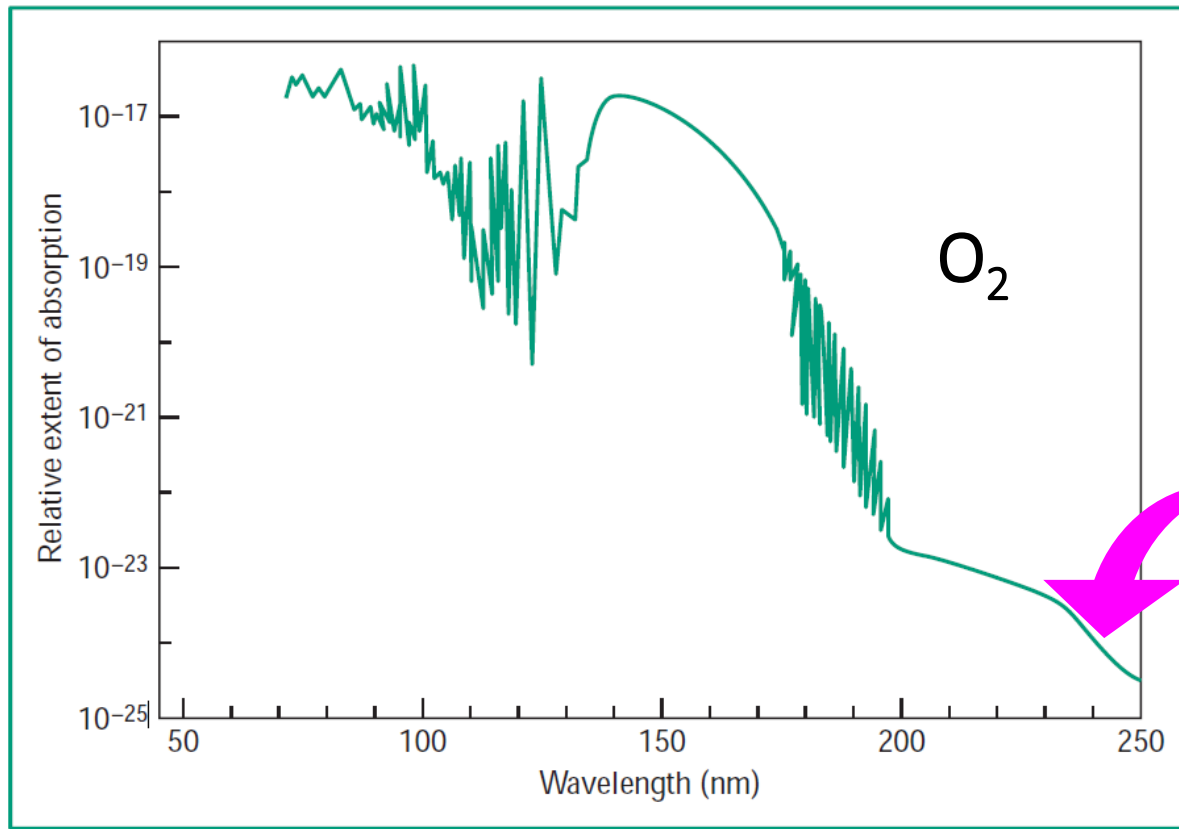
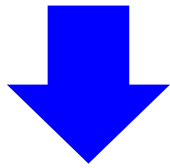


FIGURE 1-3 Absorption spectrum of O₂. [Source: T. E. Graedel and P. J. Crutzen, *Atmospheric Change: An Earth System Perspective* (New York: W. H. Freeman, 1993).]

Mesmo que a absorção do O₂ perto de 240 nm seja de baixa intensidade, é suficiente para dissociar a molécula!

Porque a camada de ozônio é tão importante para a vida do Planeta??



O espectro de absorção do O_3 inclui a região de **220 a 320 nm**, portanto:

nos protege de **parte do UV-C e toda a faixa do UV-B!**

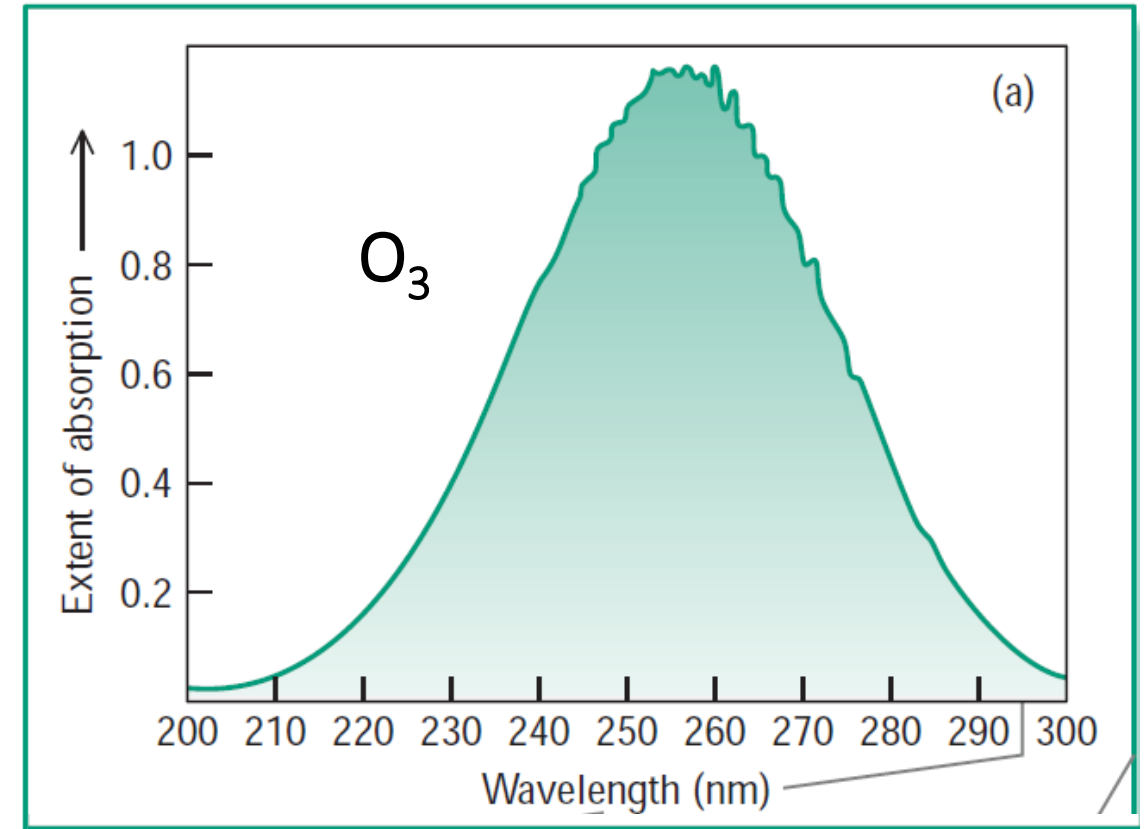
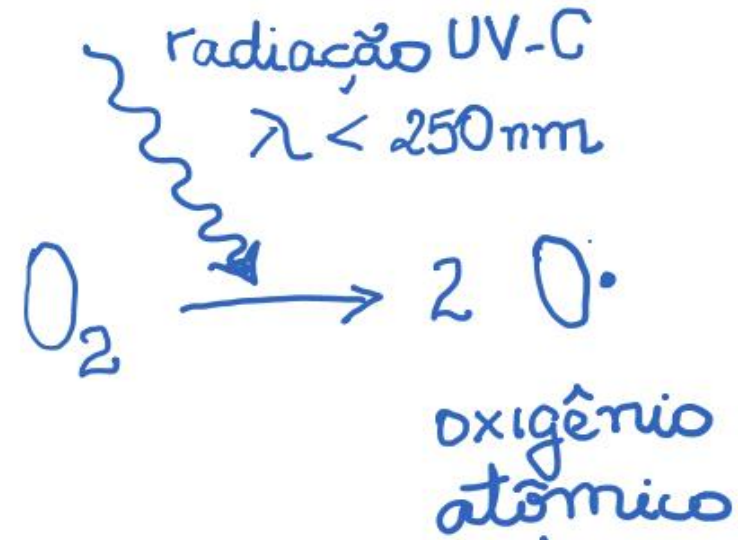
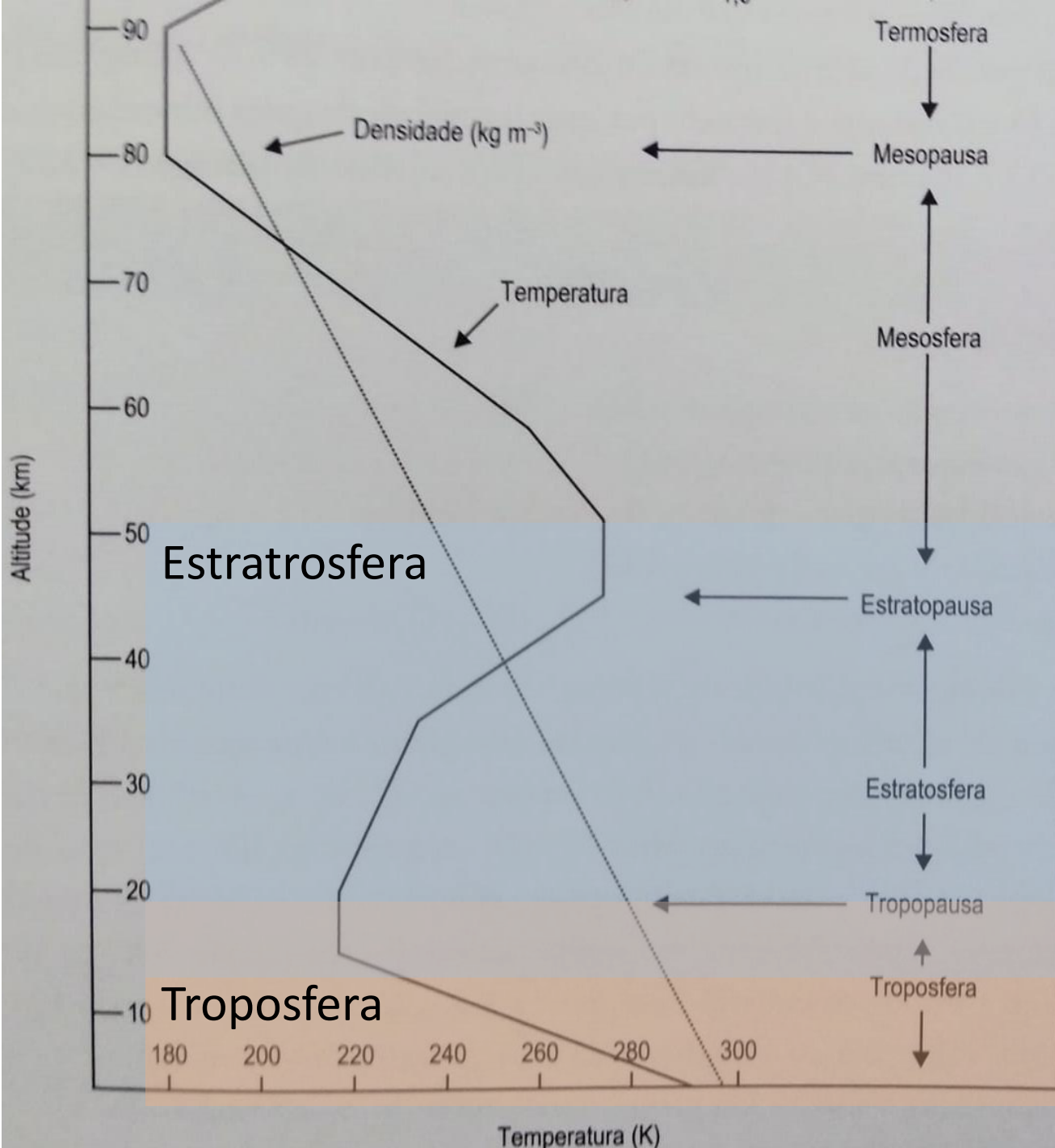
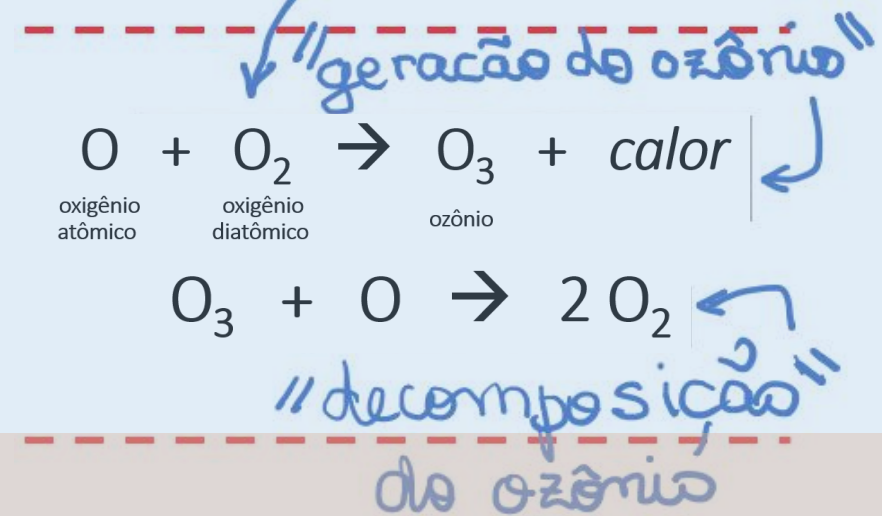


FIGURE 1-4 Absorption spectrum of O_3 : (a) from 200 to 300 nm and (b) from 295 to 325 nm. Note that different scales are used for the extent of absorption in the two cases. [Sources: (a) Redrawn from M. J. McEwan and L. F. Phillips, *Chemistry of the Atmosphere* (London: Edward Arnold, 1975). (b) Redrawn from J. B. Kerr and C. T. McElroy, *Science* 262: 1032–1034. Copyright 1993 by the AAAS.]



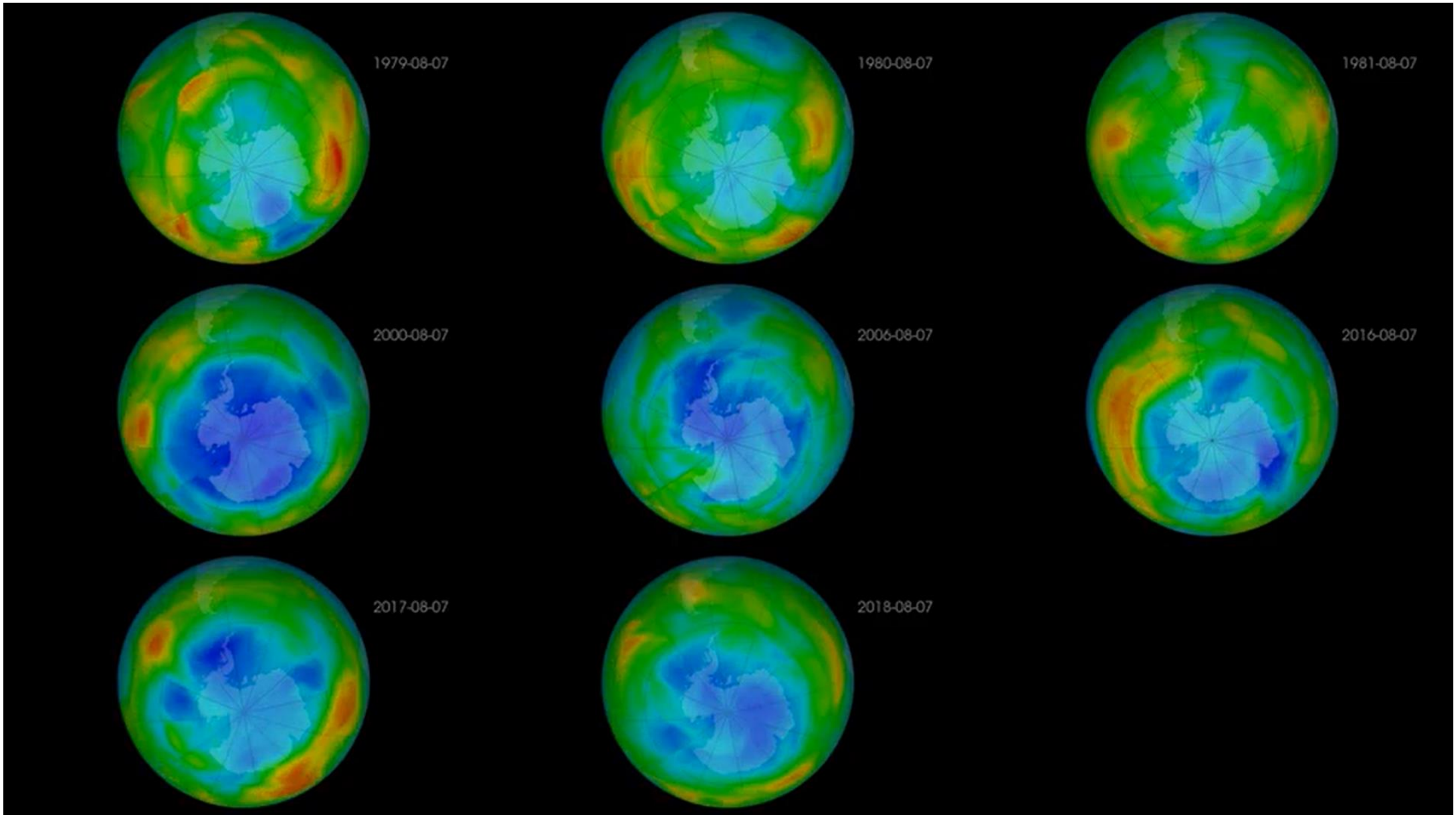
PROCESSO NATURAL



A poluição atmosférica e a depleção da camada de ozônio

Mapas da camada de ozônio - Antártica

(<https://www.youtube.com/watch?v=BL1ZsAIJKXU&t=7s>)



A depleção da camada de ozônio:

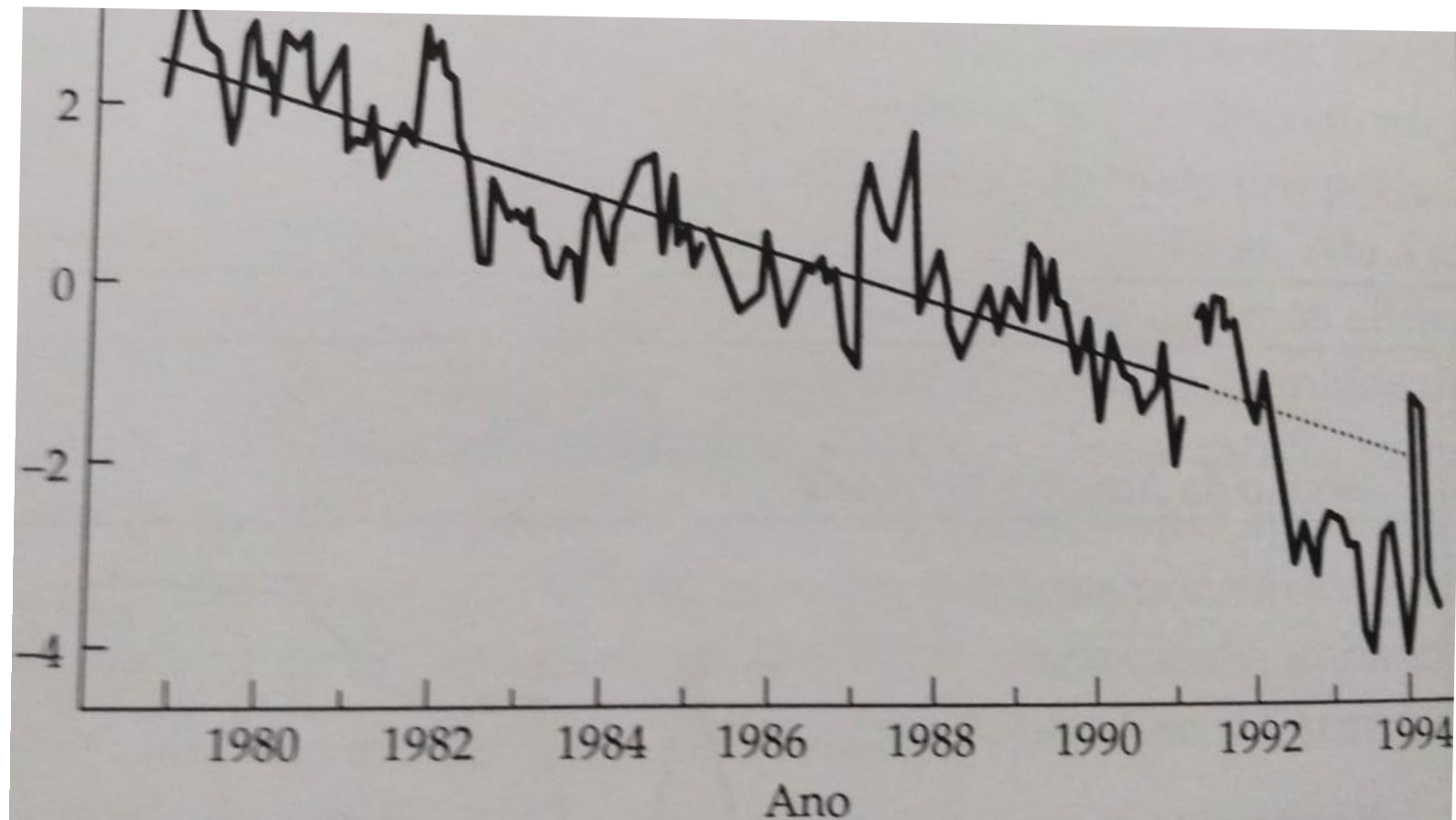
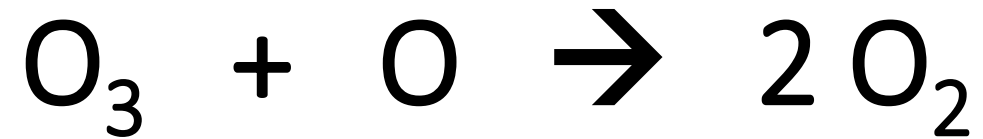


Figura 2.4

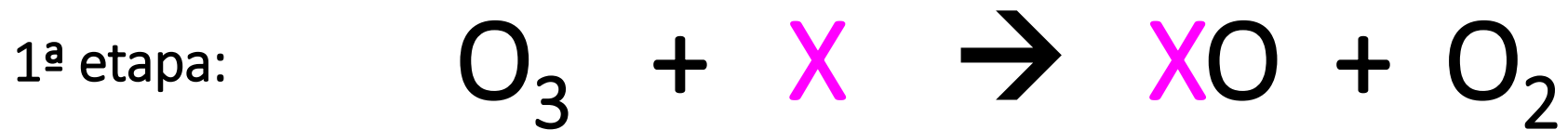
Variação ao longo do tempo do ozônio estratosférico total em regiões não-polares ($60^{\circ}\text{N} - 60^{\circ}\text{S}$). Note que os efeitos do ciclo solar foram removidos. A linha contínua é um ajuste linear dos dados até o fim de maio de 1991, e a linha pontilhada é uma extrapolação até maio de 1994. (Fonte: N.P.R. Harris *et al.* Trends in stratospheric and free tropospheric ozone. 1997. *Journal of Geophysical Research* 102: 1571-1590)

Mecanismo Catalítico de Destruição Do Ozônio

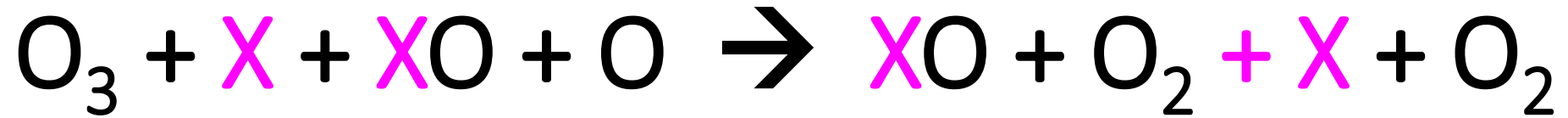
Seja a reação de decomposição natural do O_3



Suponha no lugar do radical O^\cdot , um radical X^\cdot

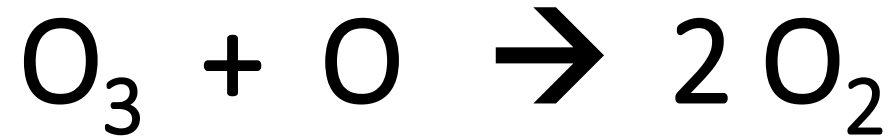


Somando-se as duas etapas



O radical **X** desaparece:

Reação
global:



- O principal catalisador “X” é o átomo de cloro livre: **Cl·**
- Uma fonte comum são poluentes voláteis organo**clorados**!