

# QUÍMICA AMBIENTAL

**Efeito Estufa e Aquecimento Global – Aula 04**

Prof. Natália Joenck Ribeiro

# Tópicos de Aula

1

## Introdução

Definições iniciais e dados mundiais.

2

## Mecanismos do Efeito Estufa

Luz IV, UV, visível, absorção em comprimentos de onda e balanço de energia da terra.

3

## Vibração Molecular

Como ocorre a absorção IV em cada tipo de ligação atômica em moléculas de gases do efeito estufa.

# Introdução

---

Todos têm ouvido previsões de que o efeito estufa irá afetar significativamente, no futuro, o clima ao redor do mundo. Os termos efeito estufa e aquecimento global, de uso comum, significam simplesmente que espera-se que a média global das temperaturas do ar aumente em vários graus, como resultado do aumento do dióxido de carbono e de outros gases estufa na atmosfera.

**De fato, a maioria dos cientistas atmosféricos acredita que o aquecimento global está acontecendo já há algum tempo e que ele é responsável pelo aumento da temperatura do ar de cerca de dois terços de um grau Celsius que vem ocorrendo desde 1860.**

Se os modelos atuais sobre a atmosfera estiverem corretos, no entanto, um aquecimento significativo irá ocorrer nas próximas décadas. É importante que possamos entender os fatores que estão levando a esse aumento para que possamos, se quisermos, tomar providências para evitar potenciais catástrofes causadas pela rápida mudança do clima no futuro.



# Efeito Estufa e Aquecimento Global

---

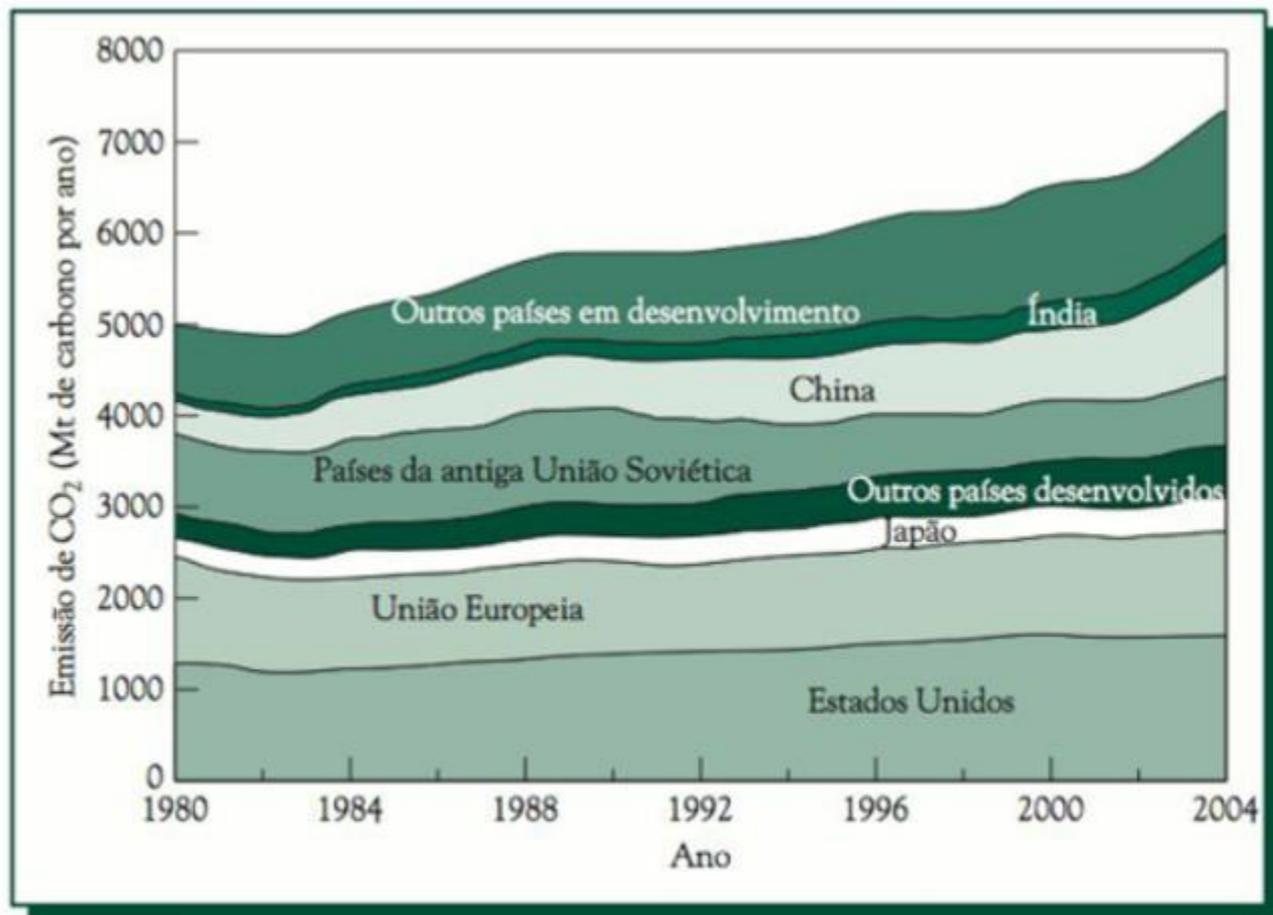
 O aquecimento global é proveniente das mudanças climáticas que estão ocorrendo em função do aumento da emissão de gases poluentes em nossa atmosfera, principalmente derivados da queima de combustíveis fósseis (gasolina, diesel etc.).

 Os gases ozônio, dióxido de carbono, metano, óxido nitroso e monóxido de carbono formam uma camada de poluentes de difícil dispersão, causando o efeito estufa.

 Além disso, a queimada das florestas e o desmatamento contribuem significativamente para este processo, pois, apesar de as plantas conseguirem absorver o  $\text{CO}_2$  no seu processo de fotossíntese, a quantidade de gás que está sendo liberada é maior que a capacidade de absorção das plantas.

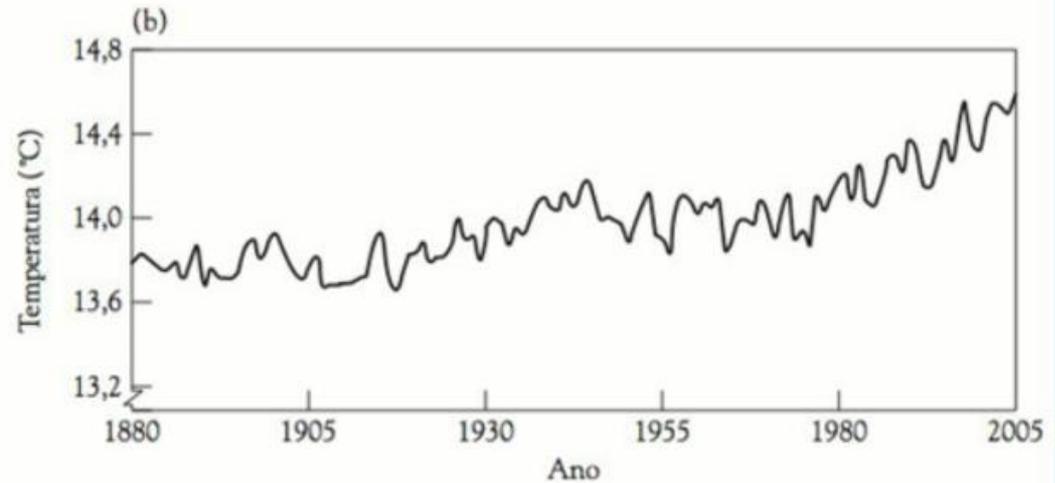
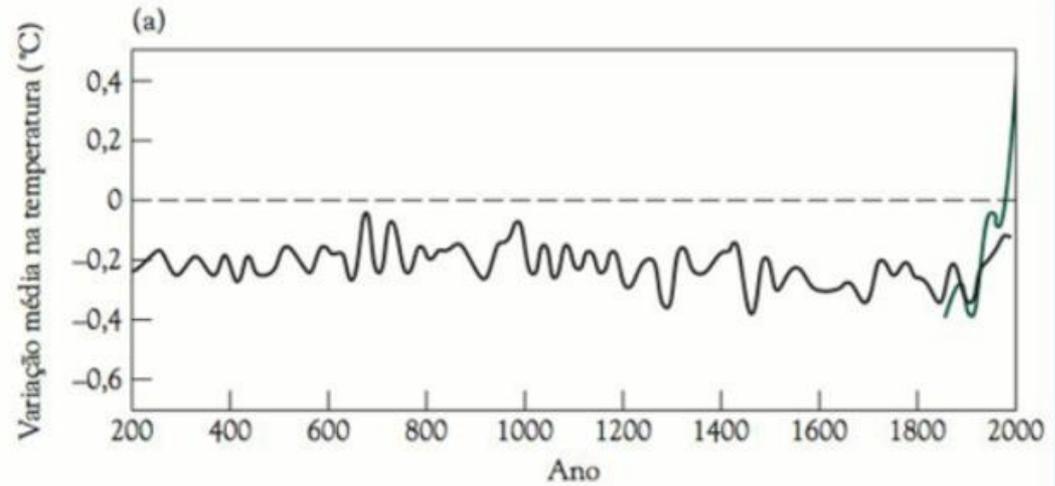
 Então, esse  $\text{CO}_2$  acumulado na atmosfera acaba bloqueando a saída de radiação quente para o espaço e manda de volta esta radiação aquecida.

 Além do vapor d'água, gases como o gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) produzido pela queimada de florestas e pela combustão de produtos como o carvão, o metano ( $\text{CH}_4$ ), produzido pela decomposição da matéria orgânica, o ozônio ( $\text{O}_3$ ) e o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), gerado pela atividade das bactérias no solo, formam uma barreira na atmosfera e são responsáveis por absorver e refletir as radiações infravermelhas, conhecido como efeito estufa.



**FIGURA 7-1** Emissões de CO<sub>2</sub> a partir da queima de combustíveis fósseis de diferentes países e regiões desde 1980. [Fonte: M. Raupach et al., *Proceeding of the National Academy of Sciences* 104 (2007): 10288.]

## Aumento de Temperatura Histórico



## Efeito Estufa e Aquecimento Global

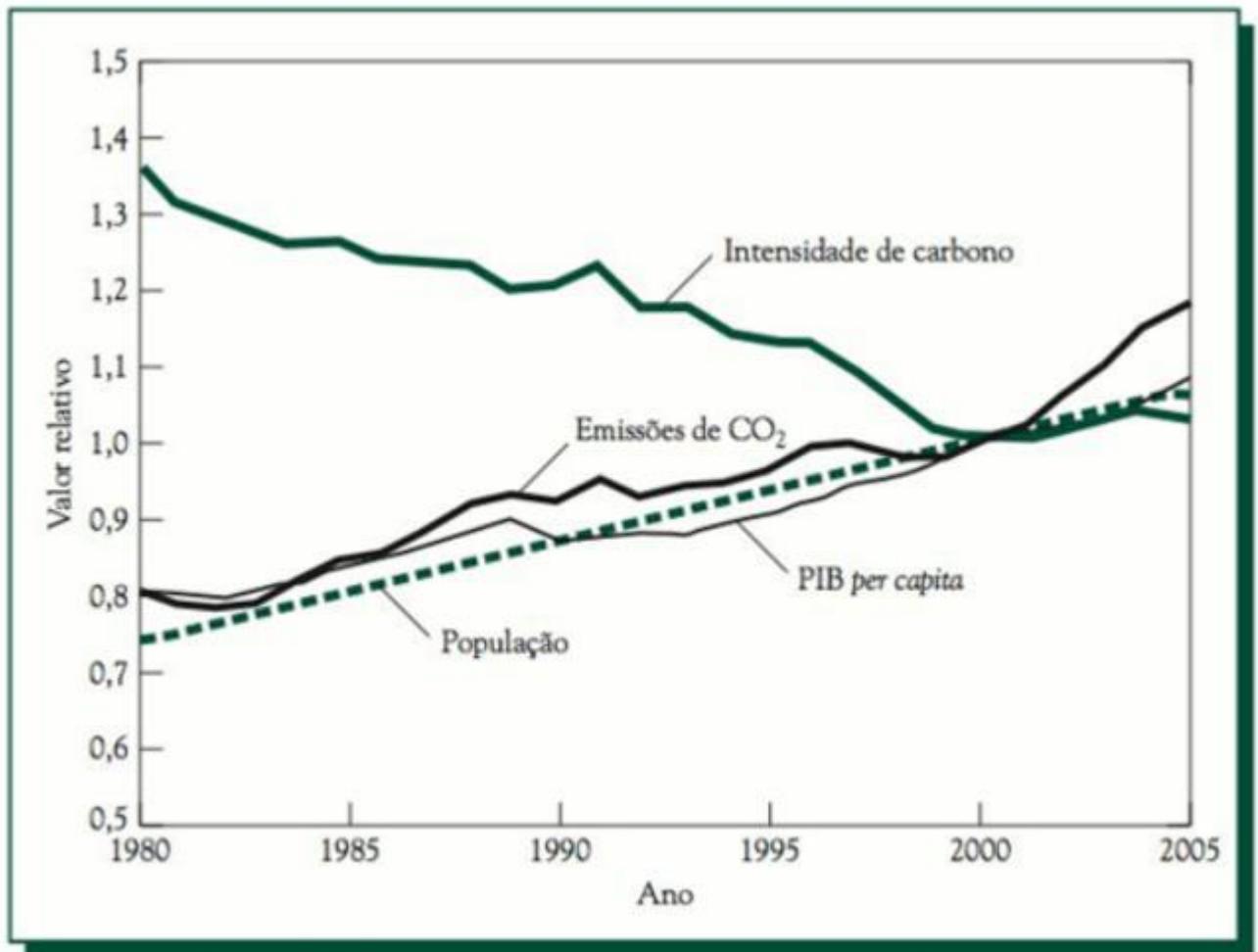


Gletscherschmelz/Wikimedia Commons

Figura 3.6 – Derretimento do glaciár Grosser Aletsch, na Suíça em 1979 (esq.), 1991 (centro) e 2002 (dir.).



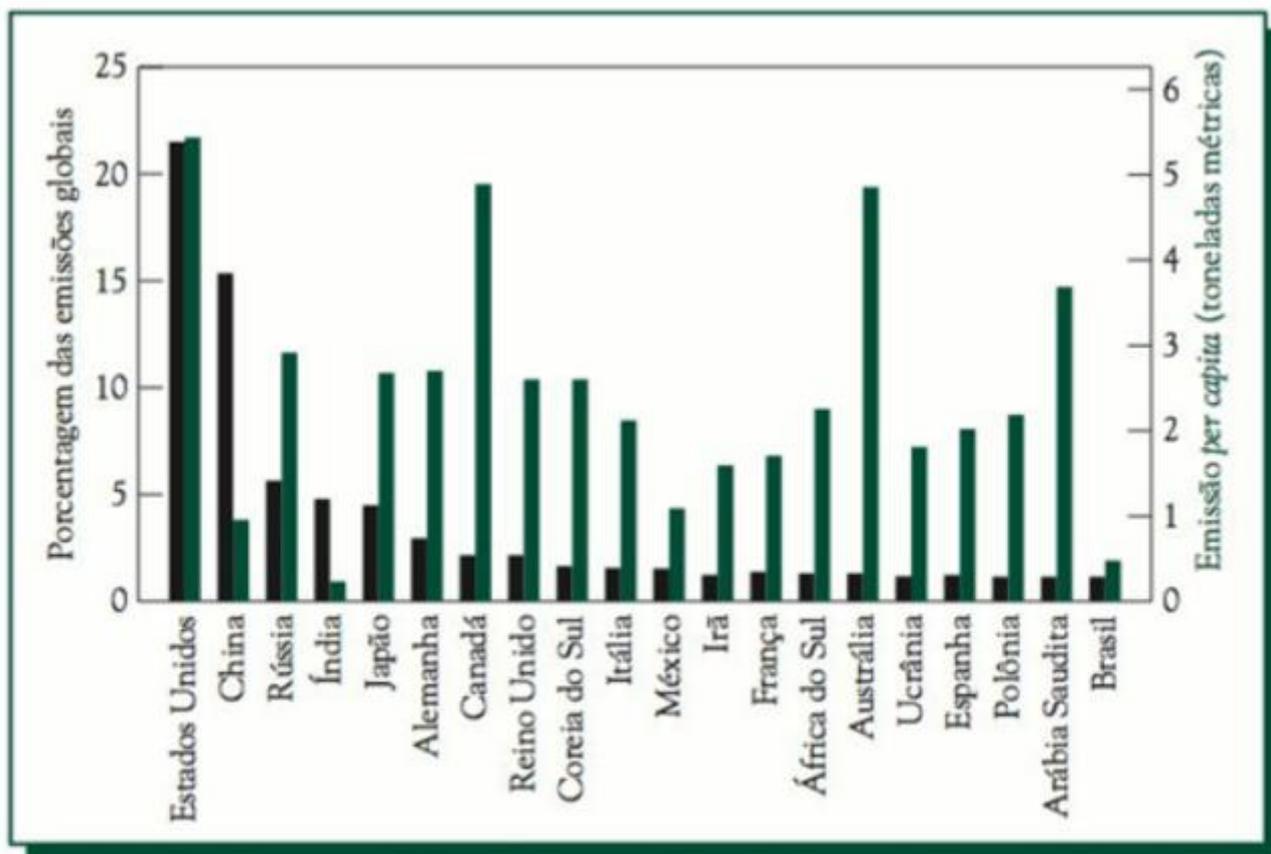
Quase todo esse aumento das emissões de  $\text{CO}_2$  surgiu a partir do aumento no uso de energia derivada dos combustíveis fósseis. No entanto, a razão entre dióxido de carbono e energia varia entre os países e com o tempo devido às diferenças na fração de energia produzida pela combustão e porque diferentes combustíveis fósseis produzem quantidades muito diferentes de gás por joule, conforme será exposto ainda neste capítulo. Pela importância do  $\text{CO}_2$ , o termo intensidade de carbono, definido como a razão entre emissões de  $\text{CO}_2$  por dólar do PIB, tornou-se amplamente discutido pelos legisladores.





No período até perto do ano 2000, a intensidade de carbono do PIB global diminuiu quase linearmente com o tempo, assim, a velocidade de emissão total de dióxido de carbono – que é o produto dos três fatores – aumentou somente de forma gradual e mais ou menos linear naquele período. De 2000 a pelo menos 2005, visto que a intensidade de carbono não caiu, a velocidade de emissão de dióxido de carbono aumentou drasticamente.

$$\text{Velocidade de emissão de CO}_2 = \text{população} \times \text{PIB per capita} \times \text{intensidade de carbono}$$



**FIGURA 7-4** Emissões de dióxido de carbono total (barras escuras) e *per capita* (barras em verde) pelos 20 países maiores emissores em 2003. [Fonte: Data from Carbon Dioxide Information Analysis Center.]

## Mecanismo do Efeito Estufa

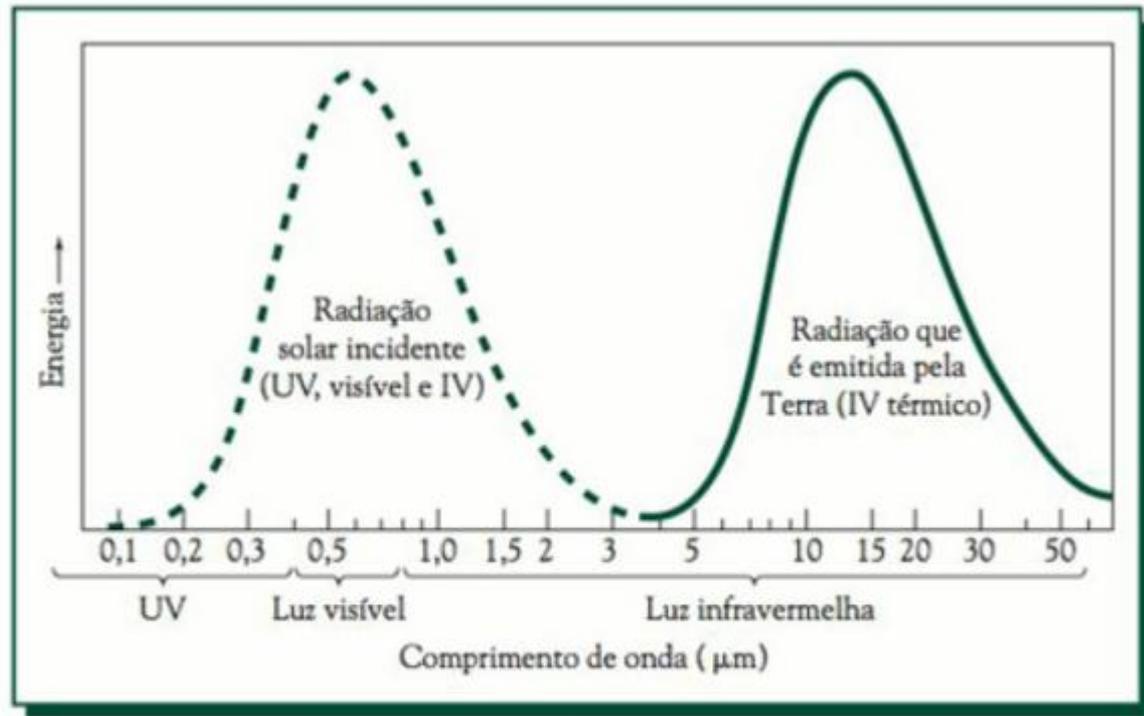
 Do total da luz de todos os comprimentos de onda que alcança a Terra, cerca de 50% são absorvidos em sua superfície pelos corpos d'água, solo, vegetação, prédios, e assim por diante.

 Mais de 20% da luz que chega são absorvidos pelas gotículas de água presentes no ar (principalmente na forma de nuvens) e pelas moléculas de gases – o componente UV pelo ozônio estratosférico,  $O_3$ , e oxigênio diatômico,  $O_2$ , e o IV pelo dióxido de carbono,  $CO_2$ , e especialmente vapor de água.

 Os 30% restantes da luz solar são refletidos de volta para o espaço pelas nuvens, partículas em suspensão, gelo, neve, areia e outros corpos refletivos, sem serem absorvidos.



## Mecanismos do Efeito Estufa



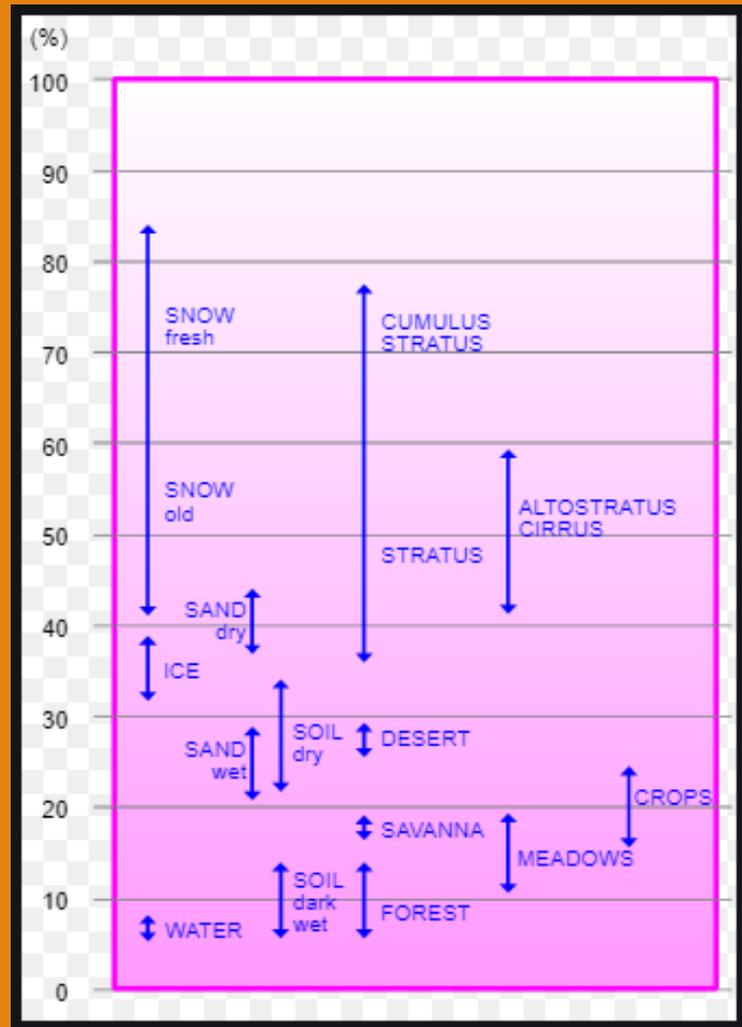
**FIGURA 6-1** Distribuição dos comprimentos de onda (usando diferentes escalas) para a luz emitida pelo Sol (curva tracejada) e pela superfície da Terra e troposfera (curva sólida). [Fonte: Redrawn from J. Gribbin, "Inside Science: The Greenhouse Effect," *New Scientist*, supplement (22 October 1988).]

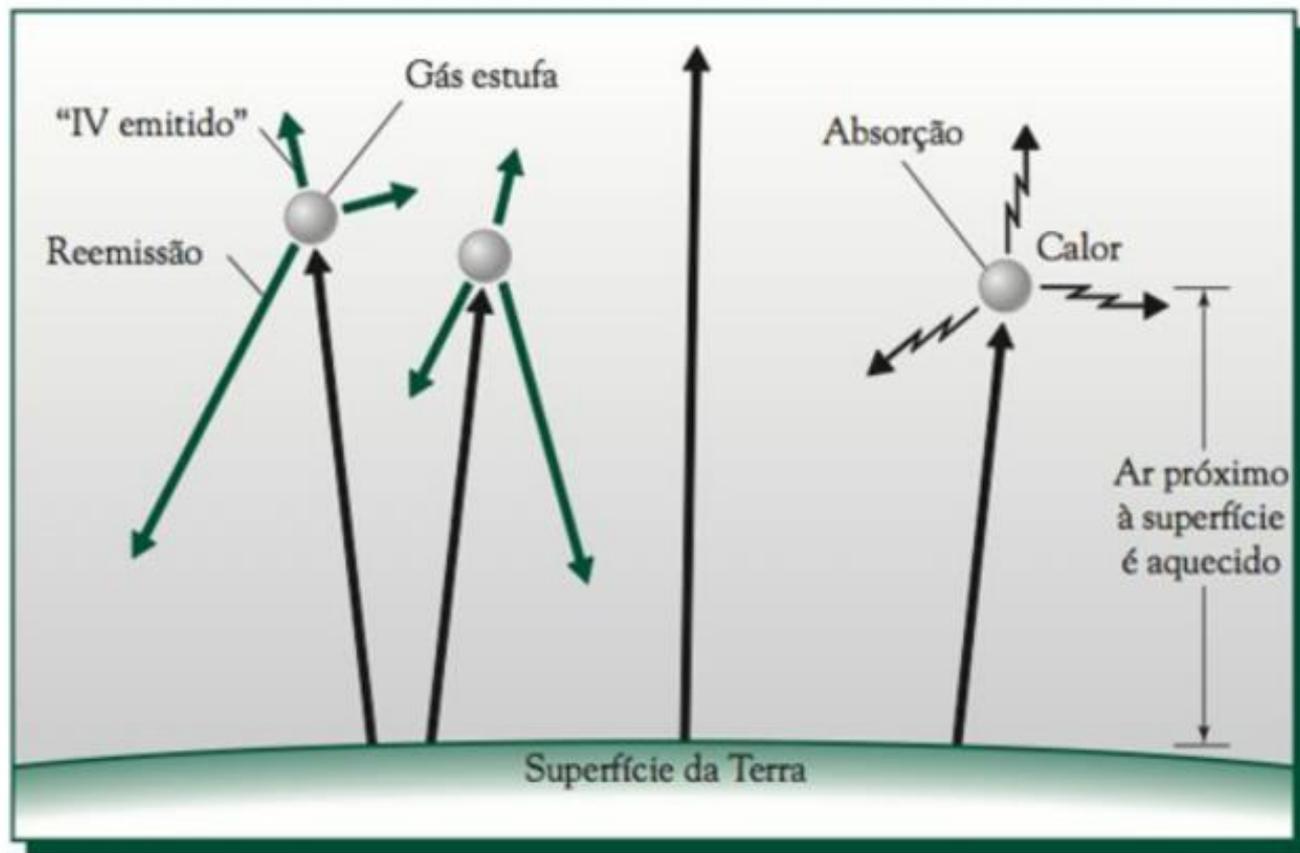
## Mecanismo do Efeito Estufa

 A fração de luz solar refletida de volta para o espaço por um objeto é chamada de albedo, que é cerca de 0,30 para a Terra em geral.

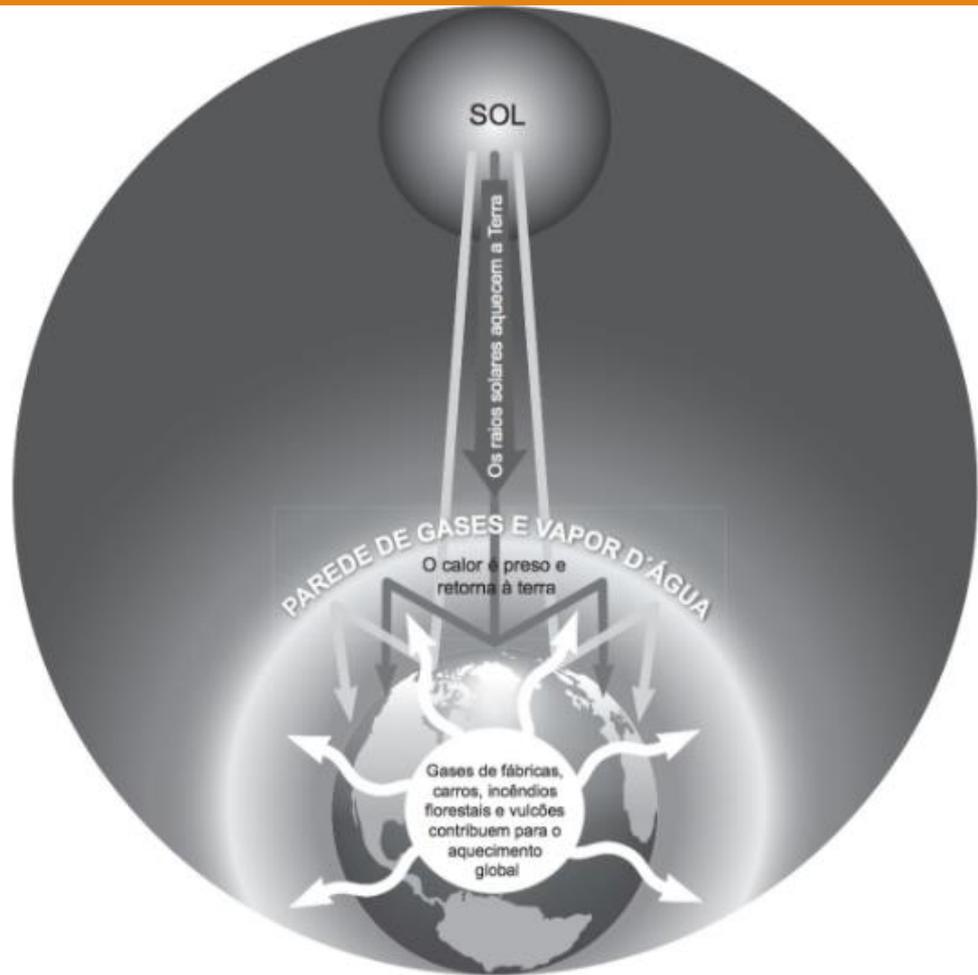
 As nuvens são bons refletores, com albedos variando de 0,4 a 0,8. A neve e o gelo também são superfícies altamente refletoras da luz visível (alto albedo), enquanto o solo e os corpos d'água são pobres refletores (baixo albedo).

 O derretimento do gelo marinho nas regiões polares para produzir água aumenta em muito a fração de luz solar absorvida na região e diminui o albedo global da Terra. O plantio de árvores em florestas cobertas de neve reduz o albedo da superfície e pode, na realidade, contribuir para o aquecimento global.





**FIGURA 6-3** O efeito estufa: IV emitido e absorvido pelos gases estufa é reemitido (lado esquerdo do diagrama) ou convertido em calor (lado direito).



Designua/Shutterstock.com

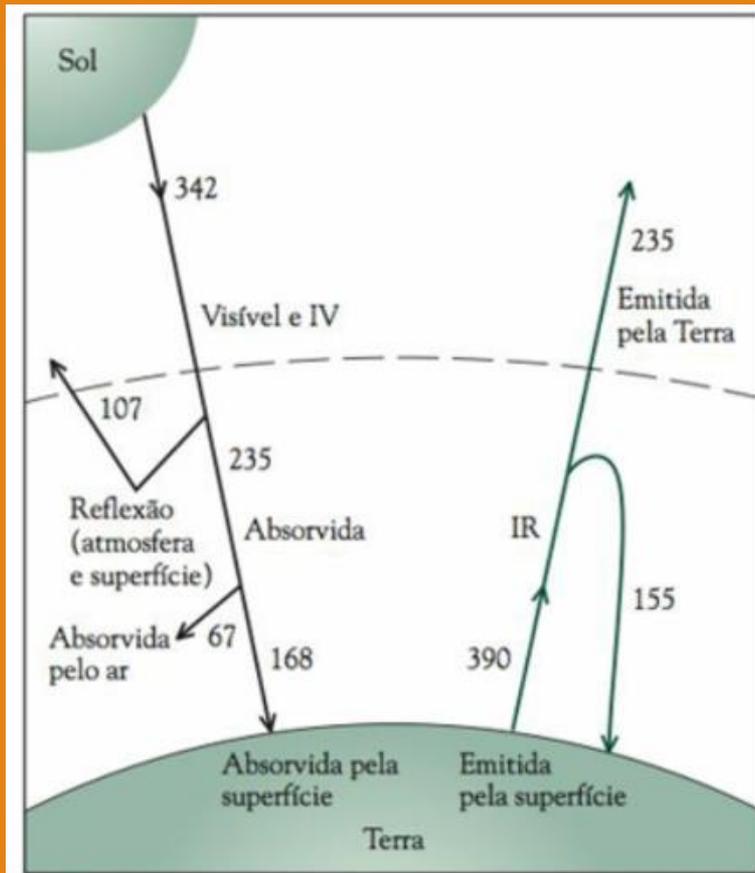
Figura 3.3 – Representação do efeito estufa.

# Balço de Energia da Terra

 As atuais entrada e saída de energia da Terra, em watts (i.e., joules por segundo) por metro quadrado da superfície, e registradas como a média durante o dia e a noite, em todas as latitudes e longitudes, e durante todas as estações do ano, estão resumidas na figura ao lado.

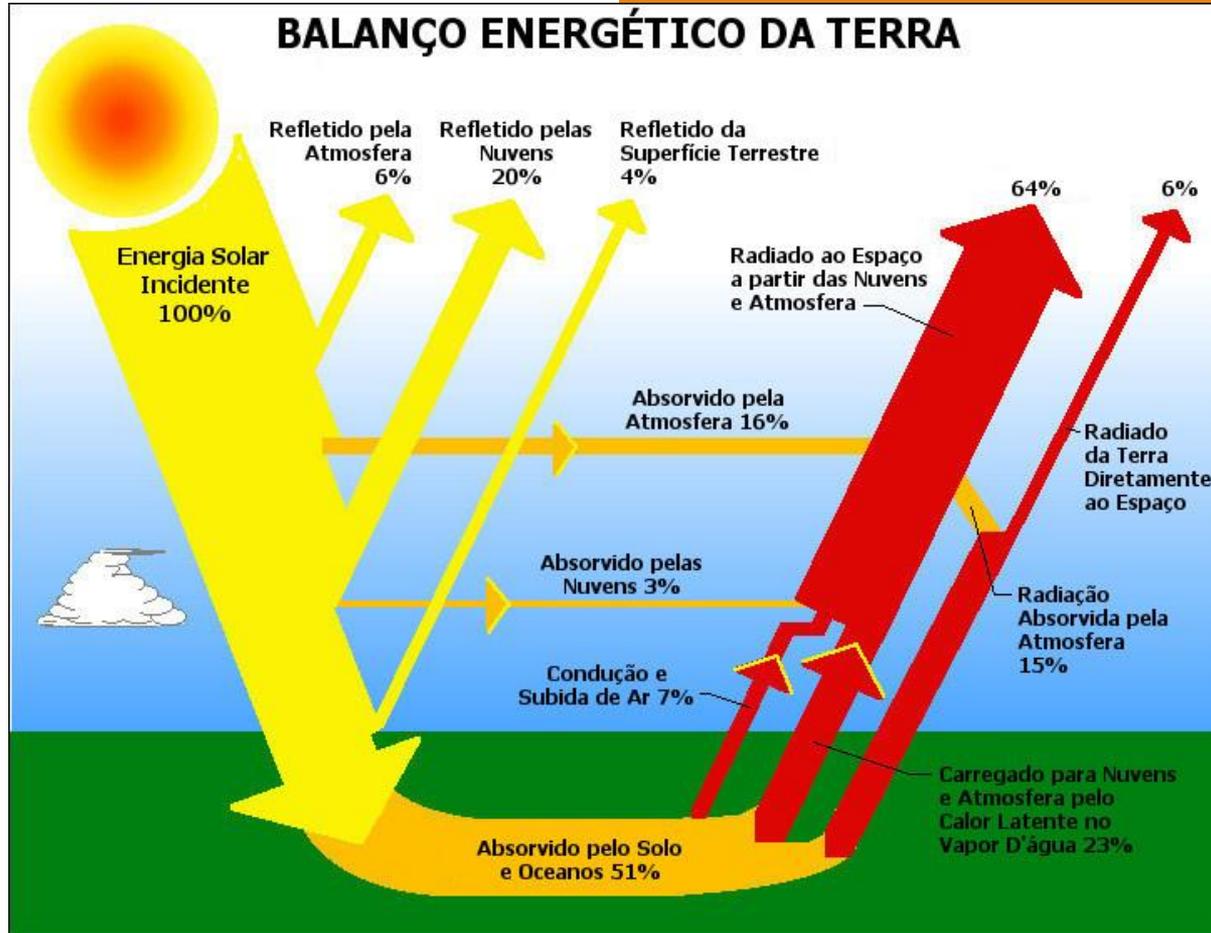
 Um total de 342 watts/m<sup>2</sup> (W/m<sup>2</sup>) estão presentes na luz solar fora da atmosfera da Terra. Destes, 235 W/m<sup>2</sup> são absorvidos pela atmosfera e a superfície; essa energia a mais deve ser reemitida para o espaço para que o planeta mantenha uma temperatura estável.

 Devido à emissão de gases do efeito estufa a emissão de somente 235 W/m<sup>2</sup> da superfície pode não ser suficiente para assegurar esse balanço.



**FIGURA 6-4** Fluxos de energias médias sazonais e globais para dentro e fora da Terra, em watts por metro quadrado à superfície.

# BALANÇO ENERGÉTICO DA TERRA





Ironicamente, está previsto que um aumento na concentração dos gases estufa irá causar um **resfriamento da estratosfera**. Esse fenômeno ocorre por duas razões:

- Primeiro, mais IV térmico emitido é absorvido a baixas altitudes (a troposfera), assim resta menos para ser absorvido e para aquecer os gases na estratosfera.
- Segundo, a temperaturas atmosféricas o CO<sub>2</sub> emite mais IV térmico para cima em direção ao espaço e para baixo em direção à troposfera do que absorve como fóton – a maior parte da absorção a essas altitudes decorre do vapor de água e do ozônio –, assim, um aumento em sua concentração resfria a estratosfera.

O resfriamento observado na estratosfera tem sido considerado um sinal de que o efeito estufa está de fato sofrendo uma intensificação.

## EFEITO COLATERAL

Como o aquecimento global ajudou na recuperação da camada de ozônio

### 1 O PROBLEMA

Na década de 1980, pesquisas indicaram que CFCs (clorofluorcarbonos) – gases emitidos por refrigeradores, spray, extintores de incêndio e isopor – estavam **danificando a camada de ozônio**

### 2 A SOLUÇÃO

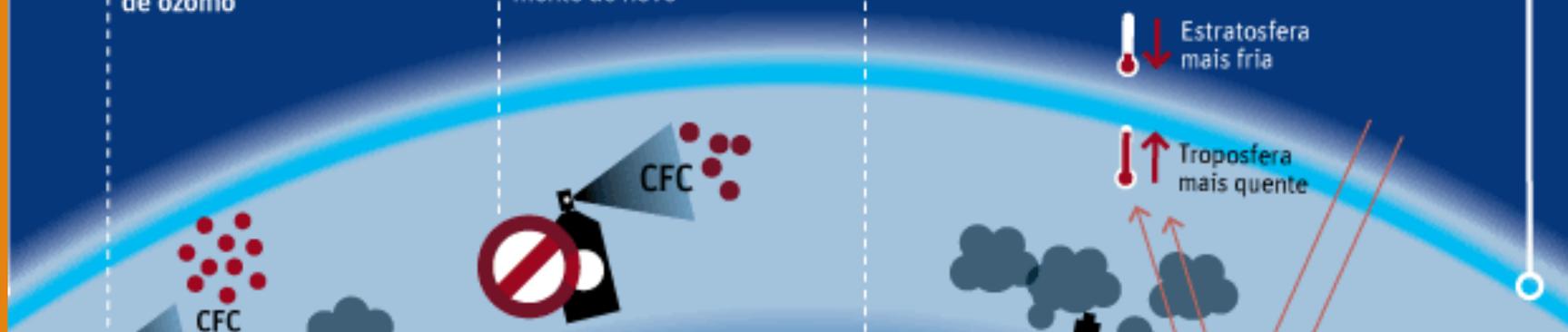
Em 1987, países da ONU assinaram o Protocolo de Montreal, prometendo **substituir os CFCs** por gases que não danificam ozônio, o que fez o nível de ozônio subir gradualmente de novo

### 3 E O AQUECIMENTO?

Como o aquecimento global retém o calor na troposfera, ele acabou **resfriando a estratosfera**, dificultando as reações químicas que destroem o ozônio

### O QUE É O OZÔNIO?

É a substância formada por 3 átomos de oxigênio (O<sub>3</sub>) que, presente na estratosfera, ajuda o planeta a se proteger dos nocivos raios ultravioleta tipo B, que causam câncer e outros problemas



# Vibrações Moleculares: Energia de absorção IV

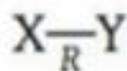
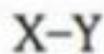
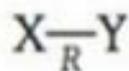
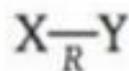
---

A luz é absorvida de forma praticamente total quando sua frequência quase se iguala à frequência do movimento interno de uma molécula. Para as frequências na região do infravermelho, os movimentos internos relevantes são as vibrações dos átomos que constituem as moléculas entre si.

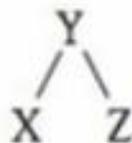
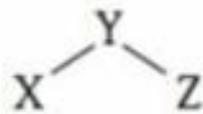
**O movimento vibracional mais simples em uma molécula é o movimento oscilatório de dois átomos ligados, X e Y, entre si. Nesse movimento, chamado de estiramento de ligação, a distância entre X e Y aumenta além de seu valor médio R, retornando a R, contraindo-se a um valor menor e, finalmente, retornando a R.**

**O outro tipo relevante de vibração é uma oscilação na distância entre os átomos X e Z ligados a um átomo comum Y, mas não ligados entre si. Tal movimento, chamado de vibração de deformação angular.**

(a) Vibração de estiramento de ligação



(b) Vibração de deformação angular



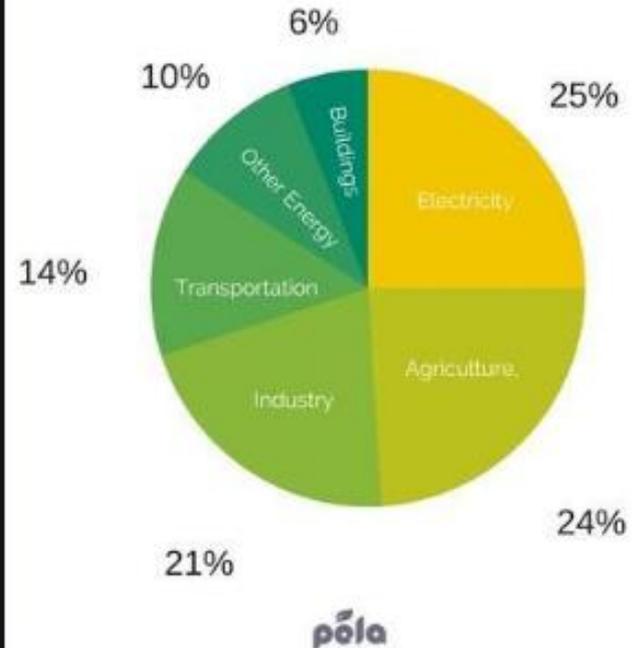
**FIGURA 6-5** Dois tipos de vibração molecular interna. Estiramento da ligação (a) é ilustrado para uma molécula diatômica  $XY$ . A variável  $R$  representa o valor médio da distância  $X$ - $Y$ . Em (b), a vibração de deformação angular é mostrada para uma molécula triatômica  $XYZ$ . O ângulo médio  $XYZ$  é indicado por  $\phi$ .

## Gases que não absorvem IV

 Se a luz infravermelha é absorvida por uma molécula durante uma vibração, deve existir uma diferença na posição relativa entre seus centros de carga positiva (seu núcleo) e negativa (sua “nuvem” de elétrons) em um momento durante o movimento. Para que haja absorção de luz IV, a molécula deve ter um momento dipolar durante a vibração.

 Os centros de carga positivos e negativos coincidem em átomos livres e em moléculas diatômicas homonucleares como o  $O_2$  e o  $N_2$ , e as moléculas possuem momento dipolar zero a todo tempo em seu momento vibracional. Assim, o gás argônio, Ar, o gás nitrogênio diatômico,  $N_2$ , e o oxigênio diatômico,  $O_2$ , não absorvem luz IV.

WHERE DO  
GREENHOUSE  
GASES  
COME FROM ANYWAYS?



# Da onde vêm os gases do efeito estufa

---

Grande parte do considerável acréscimo nas contribuições antropogênicas para o aumento da concentração de dióxido de carbono no ar decorre da queima de combustíveis fósseis – principalmente carvão, óleo e gás natural – que foram formados eras atrás, quando plantas e animais foram cobertos por depósitos geológicos antes que pudessem ser decompostos pela oxidação do ar.

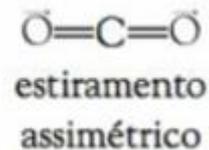
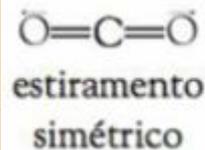
**Em média, cada pessoa, em um país industrial, é responsável pela liberação de aproximadamente 5 toneladas métricas (uma tonelada métrica equivale a 1000 kg, i.e., 2200 lb, embora uma tonelada convencional seja 2000 lb) de CO<sub>2</sub> a partir de combustíveis contendo carbono, a cada ano!**

Uma quantidade significativa de dióxido de carbono é introduzida também na atmosfera quando as florestas são derrubadas e a madeira é queimada para fornecer terra para a agricultura.

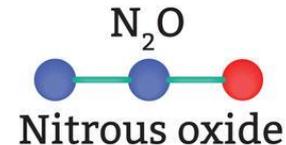
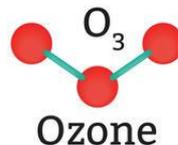
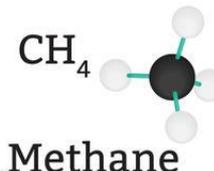
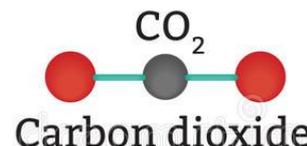
# Dióxido de Carbono

 Para o dióxido de carbono, durante o movimento vibracional em que ambas as ligações C-O se estiram e encurtam simultaneamente, i.e., de modo sincronizado, não existe em tempo algum qualquer diferença na posição entre os centros positivo e negativo de cargas. Durante essa vibração, chamada de estiramento simétrico, a molécula não pode absorver luz IV.

 No entanto, na vibração de estiramento assimétrico no CO<sub>2</sub>, a contração de uma ligação C-O ocorre quando a outra é estirada, ou vice-versa. Assim, nessa frequência de vibração, a luz IV pode ser absorvida, visto que em algum ponto na vibração, a molécula possui um momento dipolar.

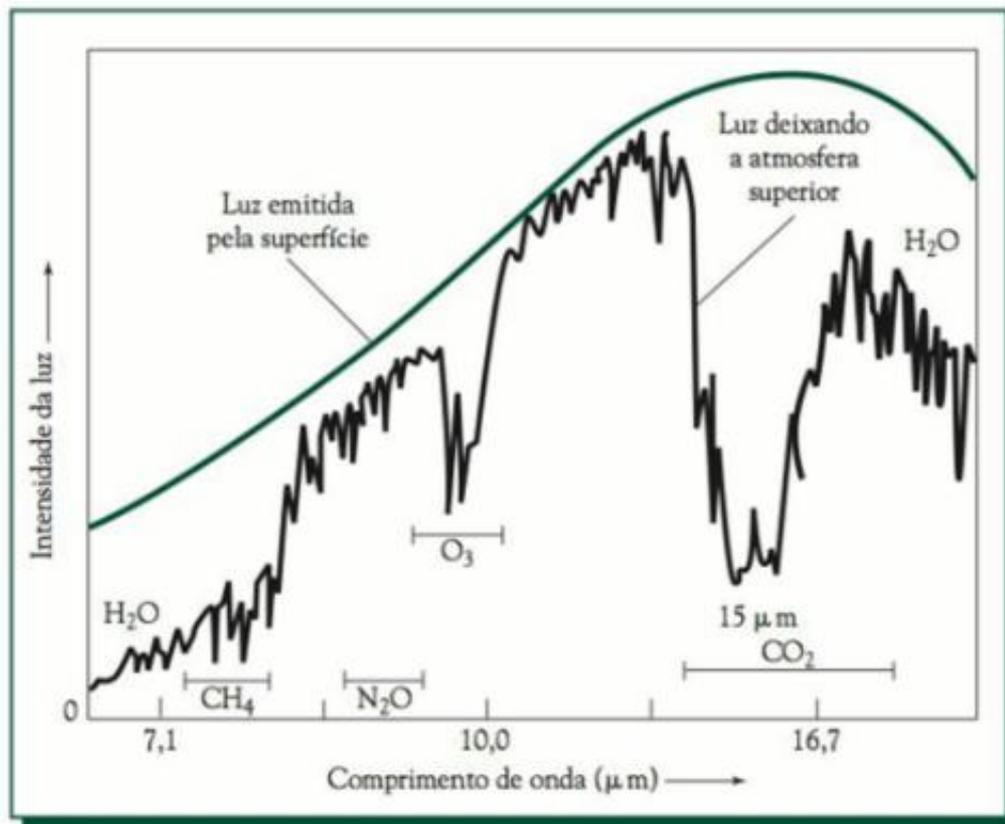


## Greenhouse effect molecules

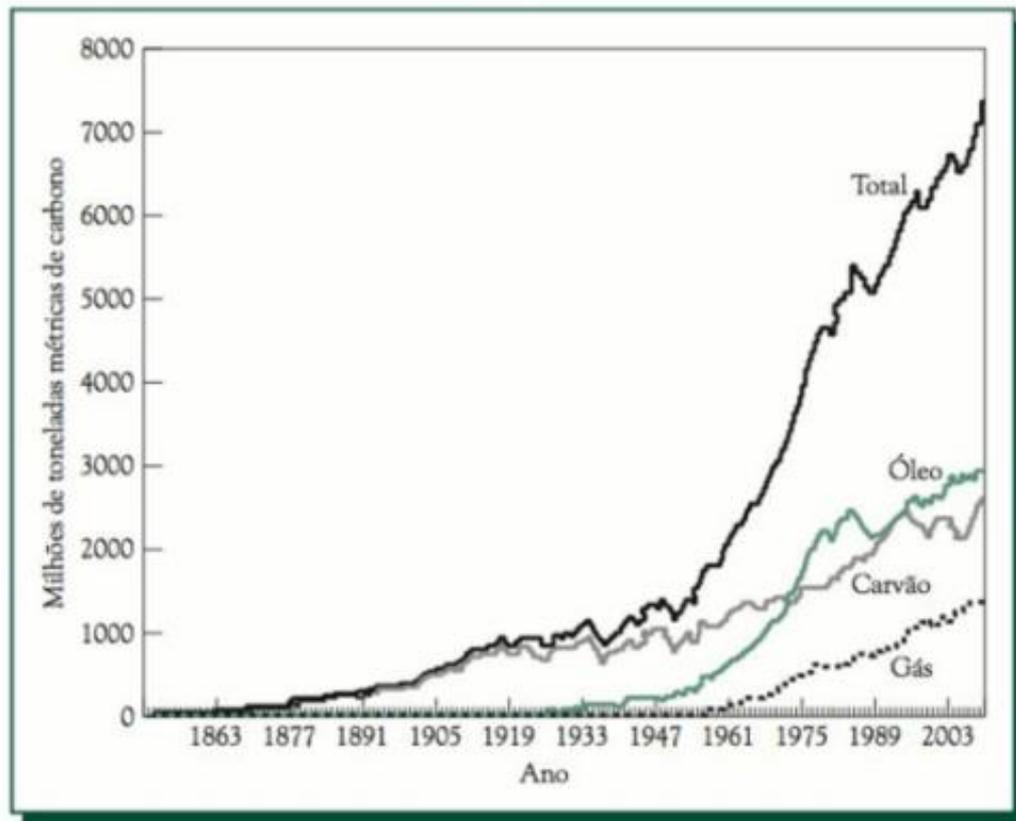




Moléculas com três ou mais átomos geralmente possuem algumas vibrações que absorvem IV, uma vez que mesmo que o seu formato médio seja altamente simétrico com um momento dipolar zero, elas sofrem vibrações que reduzem essa simetria e produzem um momento dipolar não zero. Por exemplo, a molécula de  $\text{CH}_4$  possui uma estrutura média que é exatamente tetraédrica, e conseqüentemente um momento dipolar médio zero, pois as polaridades das ligações C-H cancelam-se exatamente umas com as outras nessa geometria. O dipolo zero é mantido durante a vibração na qual as quatro ligações se estiram e se contraem simultaneamente. No entanto, durante o movimento vibracional em que algumas das ligações se estiram enquanto outras se contraem, e naquela em que alguns ângulos de ligação H-C-H se tornam maiores que o tetraedro enquanto outros se tornam menores, a molécula possui um momento dipolar diferente de zero. Moléculas de  $\text{CH}_4$  que sofrem tal assimetria vibracional podem absorver luz infravermelha.



**FIGURA 6-7** Intensidade de luz infravermelha térmica (linha preta) medida experimentalmente, que escapa da superfície da Terra e baixa atmosfera (acima do deserto do Saara) comparada com a intensidade teórica (linha verde) que seria esperada sem a absorção pelos gases estufa atmosféricos. As regiões nas quais os vários gases possuem suas absorções mais elevadas estão indicadas. [Fonte: E. S. Nesbit, *Leaving Eden* (Cambridge: Cambridge University Press, 1991).]



**FIGURA 6-9** Emissões globais de CO<sub>2</sub> anuais desde a Revolução Industrial. A linha preta indica as emissões totais a partir de combustíveis fósseis e fabricação de cimento. As contribuições de sólidos (principalmente do carvão) estão ilustradas pela linha cinza; dos líquidos (principalmente de petróleo), pela linha verde; e dos gases (principalmente do gás natural), pela linha pontilhada. [Fonte: U.S. Department of Energy Carbon Dioxide Information Analysis Center, disponível em: [cdiac.ornl.gov/trends/emis/glo.htm](http://cdiac.ornl.gov/trends/emis/glo.htm)]

# Questões de Aula

- 1) Explique, em termos do mecanismo envolvido, o que significa o efeito estufa. Explique o que significa a intensificação do efeito estufa.
- 2) Desenhe um gráfico mostrando como a temperatura global do ar tem mudado desde 1850.
- 3) Qual é a faixa de comprimento de onda, em  $\mu\text{m}$ , para a luz infravermelha? Em que porção dessa faixa a Terra recebe IV do sol? Quais são os comprimentos de onda limites para a faixa do IV térmico?
- 4) Explique qual é o significado dos termos vibrações de estiramento de ligação simétrico e assimétrico e por vibrações de deformação angular.

# Obrigada

**Contatos:**  
**(48) 9 8826-9941**  
**natalia.joenck@ifsc.edu.br**