

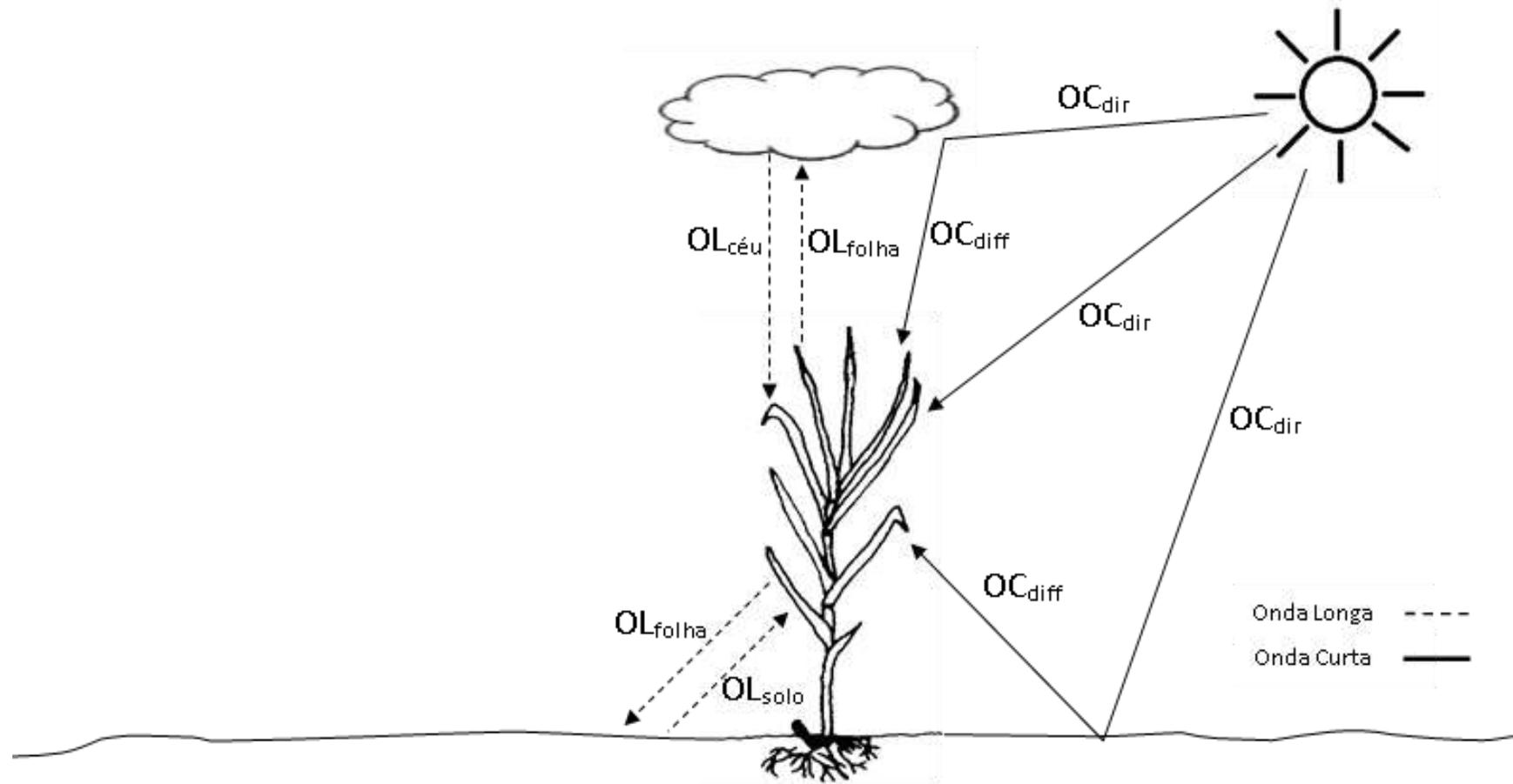
Bases físicas das mudanças climáticas

Prof. Fábio Marin

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ"
Departamento de Engenharia de Biosistemas
LEB 410 – Mudanças Climáticas e Agricultura



Relembrando o Balanço de Radiação



Equação Geral do Balanço de Radiação

- Saldo de radiação (SR ou Rn)
- $SR = BOC + BOL$

$$BOC = Q_g - rQ_g$$

Dia: Positivo
Noite: negativo

$$BOL = Q_a - Q_s$$

Dia: negativo
Noite: negativo

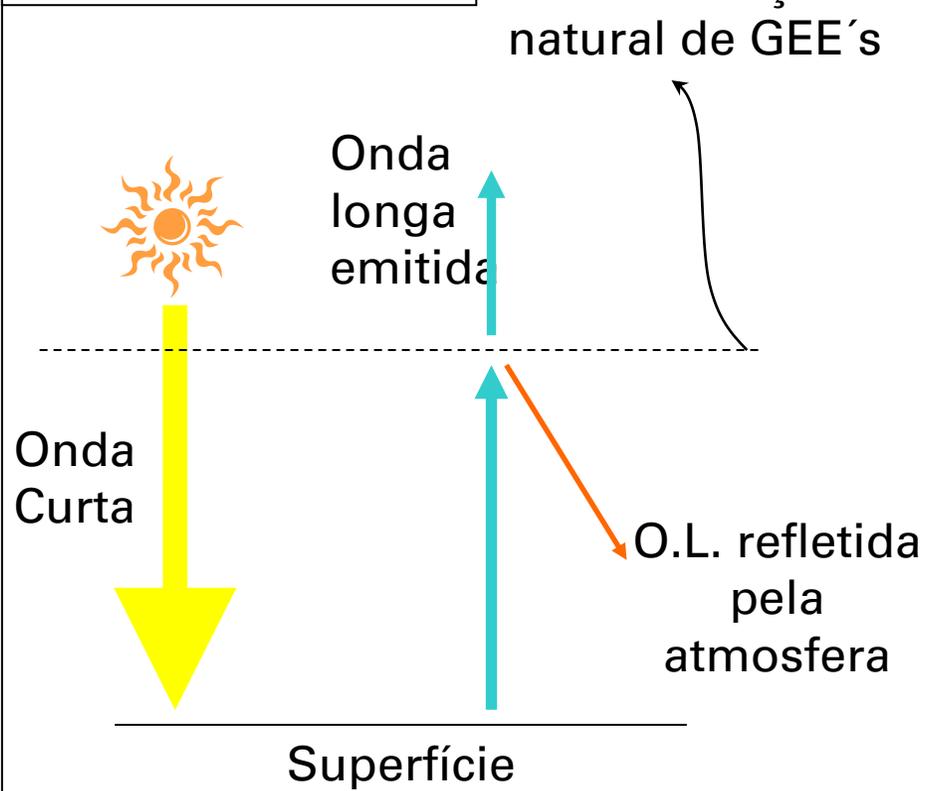
$$SR = Q_g (1-r) + Q_a - Q_s$$

Dia: positivo
Noite: negativo

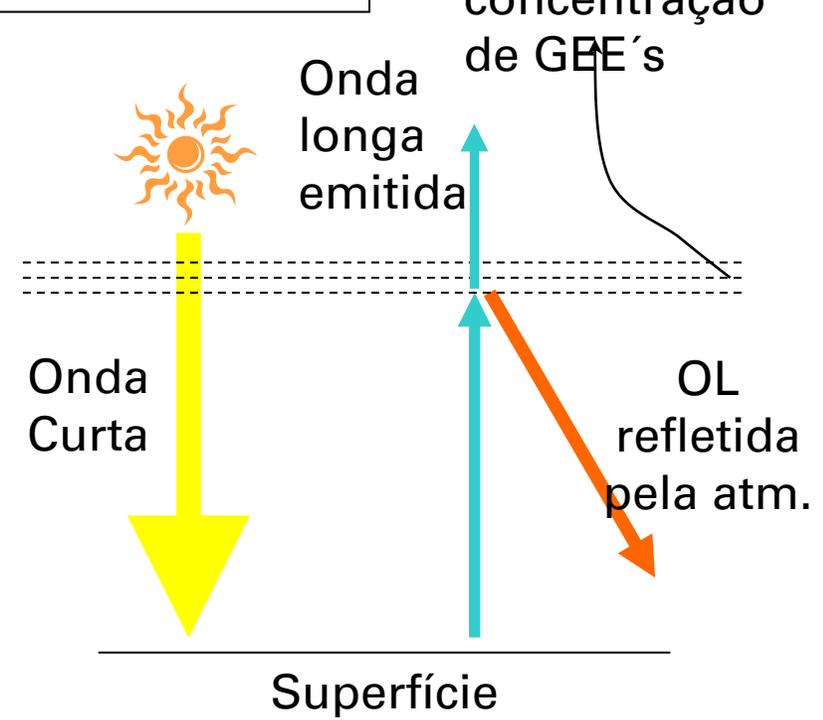
Efeito Estufa: bases físicas

- GEE atuam como filtros para a OL emitida pela superfície – temperatura em torno dos 300 K.
- Ondas curtas emitidas pelo Sol (temperatura em torno dos 6000K) sofrem pouca interferência da atmosfera terrestre, causando desequilíbrio no balanço de radiação da Terra.
- Efeito estufa é um fenômeno natural e desejável da Terra; as mudanças climáticas atuais são apenas um “reforço” a esse fenômeno natural.

Efeito Estufa em condições normais



Efeito Estufa com atmosfera alterada

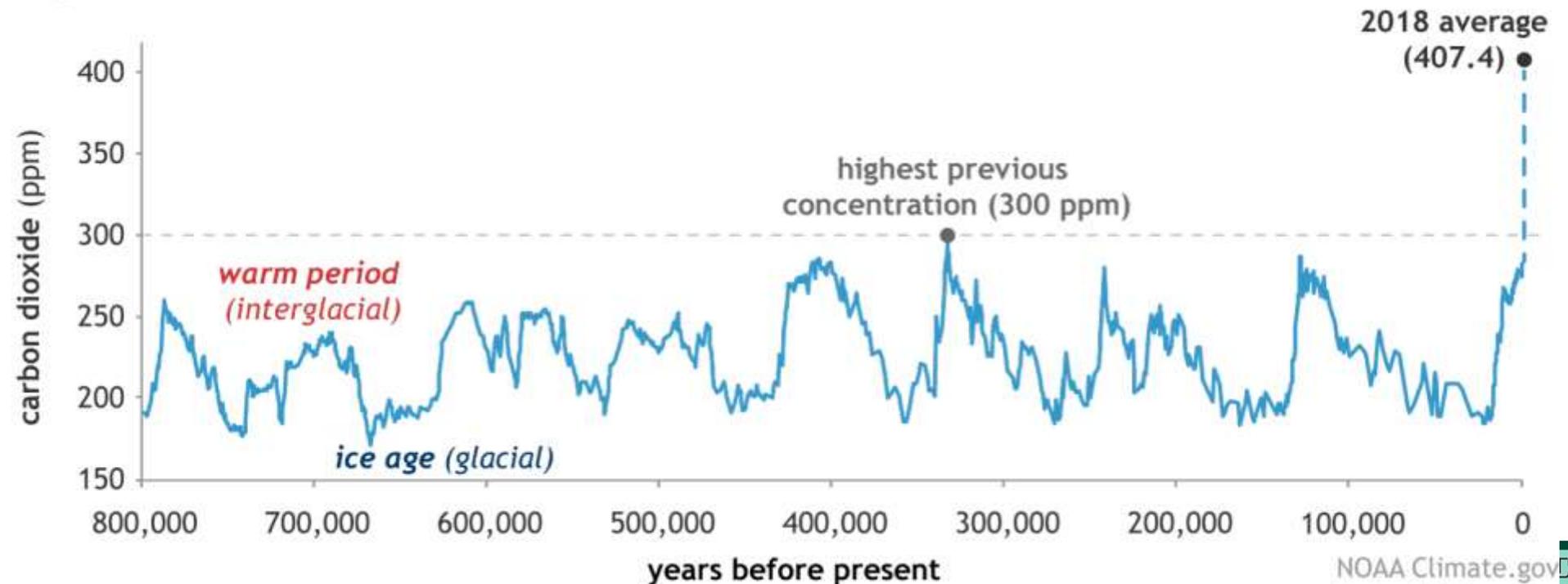


A quantidade de energia que chega ao sistema permanece o mesmo, mas uma parte da energia que era emitida ao espaço fica retida, aumentando sua temperatura.

Temperatura a partir da geologia

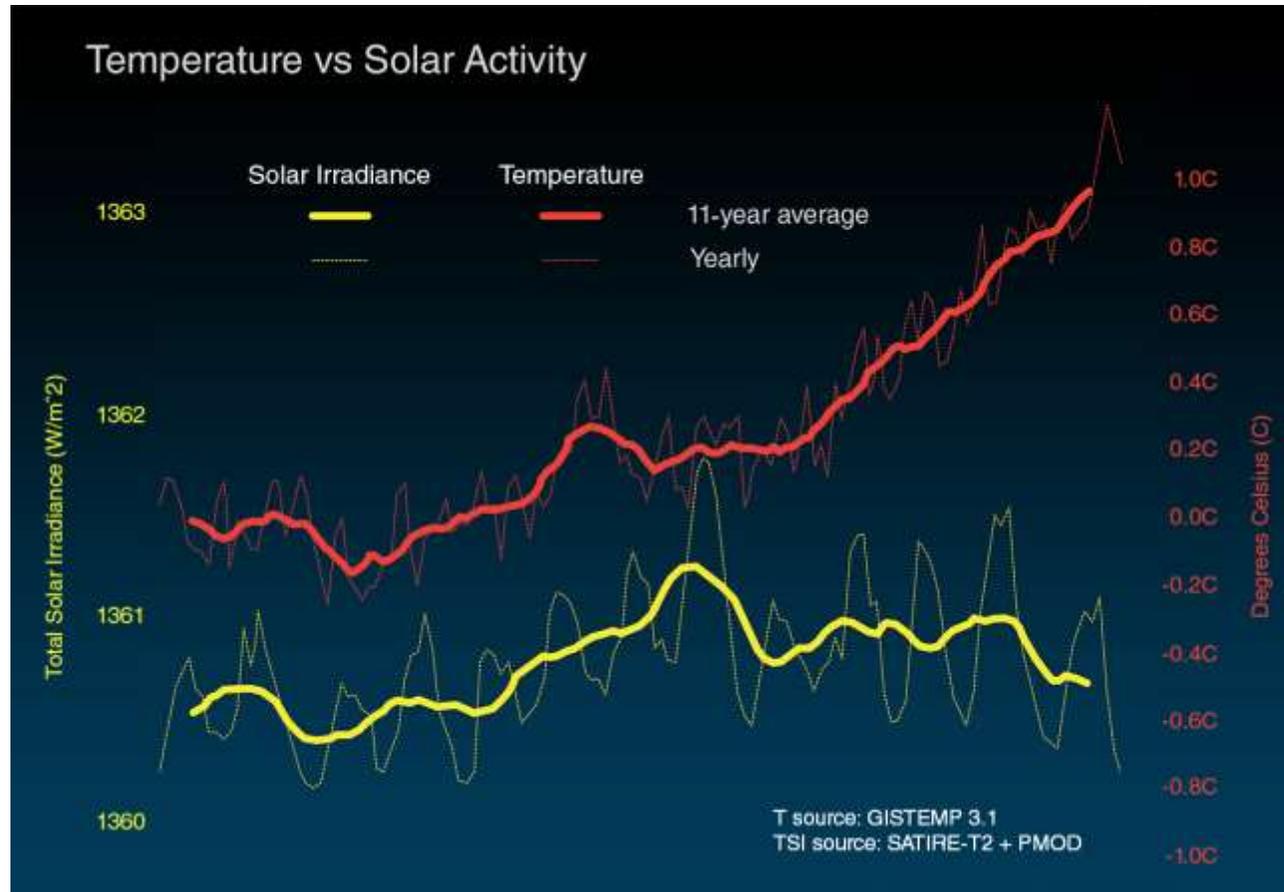
Note que o clima sempre mudou “naturalmente” ao longo do período analisado, mas nas últimas décadas, a taxa de variação da temperatura não tem precedentes históricos, indicando a causa pode ser humana. Nos períodos de elevação da temperatura, há mais energia no sistema terrestre, enquanto que nos períodos mais frios há menos energia.

CO₂ during ice ages and warm periods for the past 800,000 years



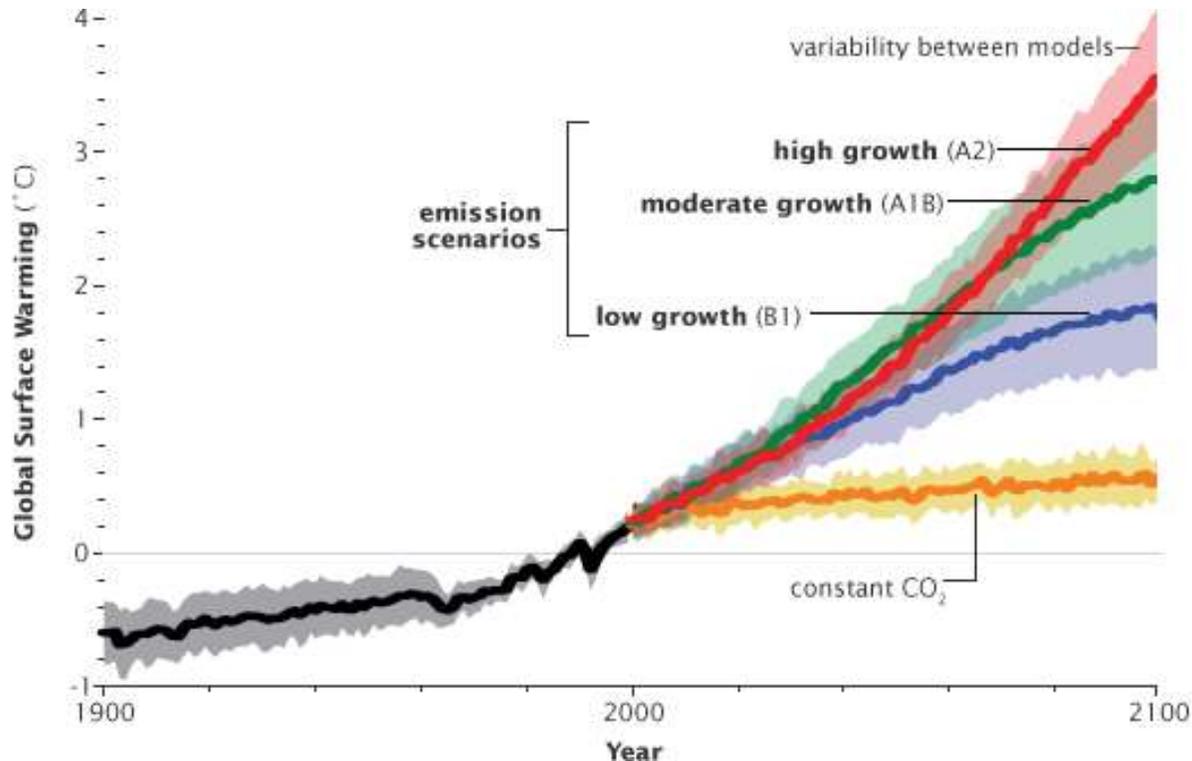
<https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide>

Temperatura global vs. atividade solar



- Observe a tendência de variação da temperatura e a tendência da radiação solar– esses dados demonstram que a causa do aquecimento não está na radiação solar, mas sim em um fenômeno ligado a própria Terra, independente do Sol.

Projeções de emissão de gases de efeito estufa

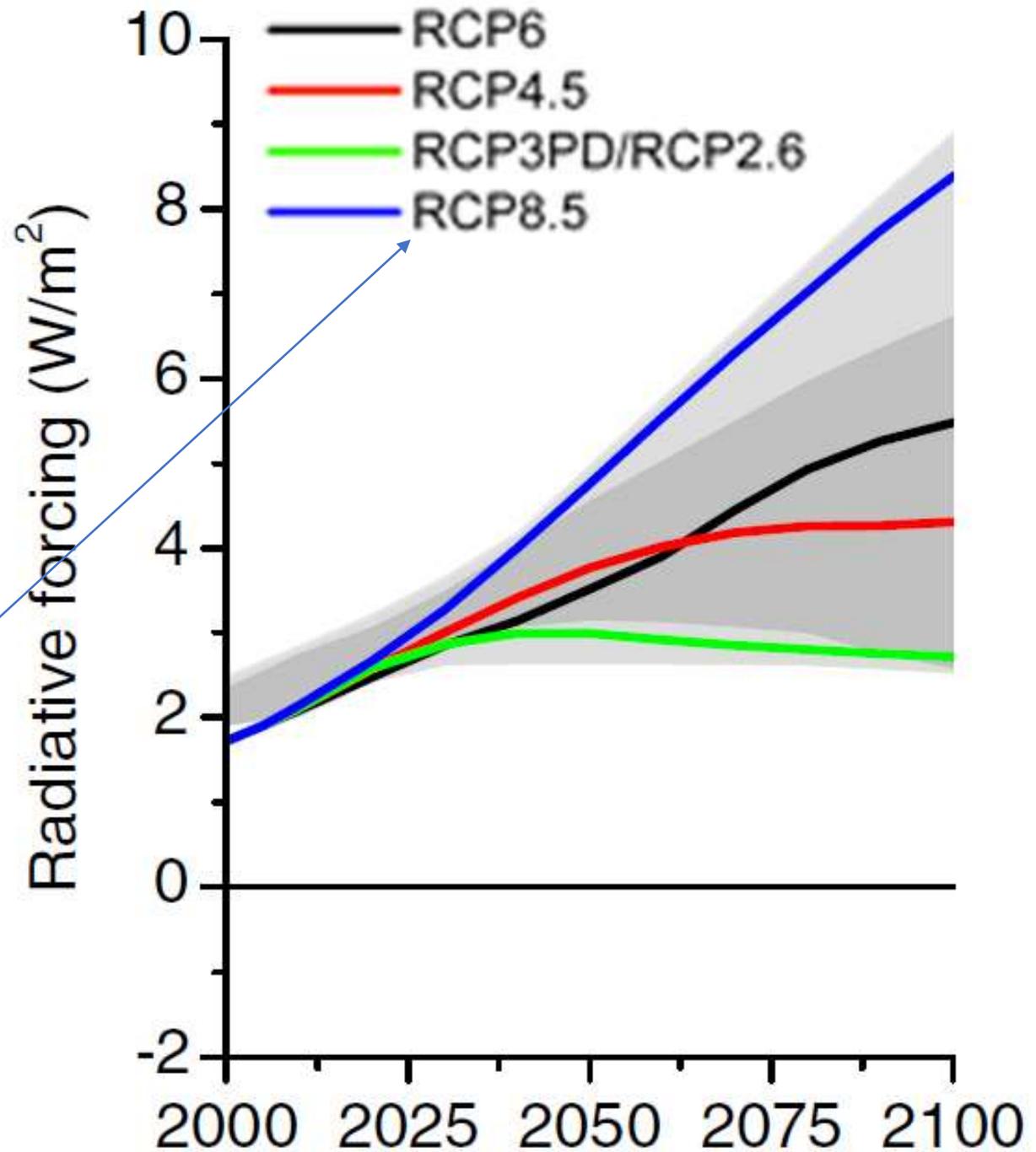


- Como já discutido anteriormente, as emissões causam um aprisionamento de ondas longas no sistema terrestre e, portanto, a elevação da temperatura.
- A taxa de emissão de GEE's, por sua vez, depende do nível de atividade econômica e da forma como se dá esta atividade (tipos de energias utilizadas).

Forçantes Radiativas

RCP - "Representative Concentration Pathways"

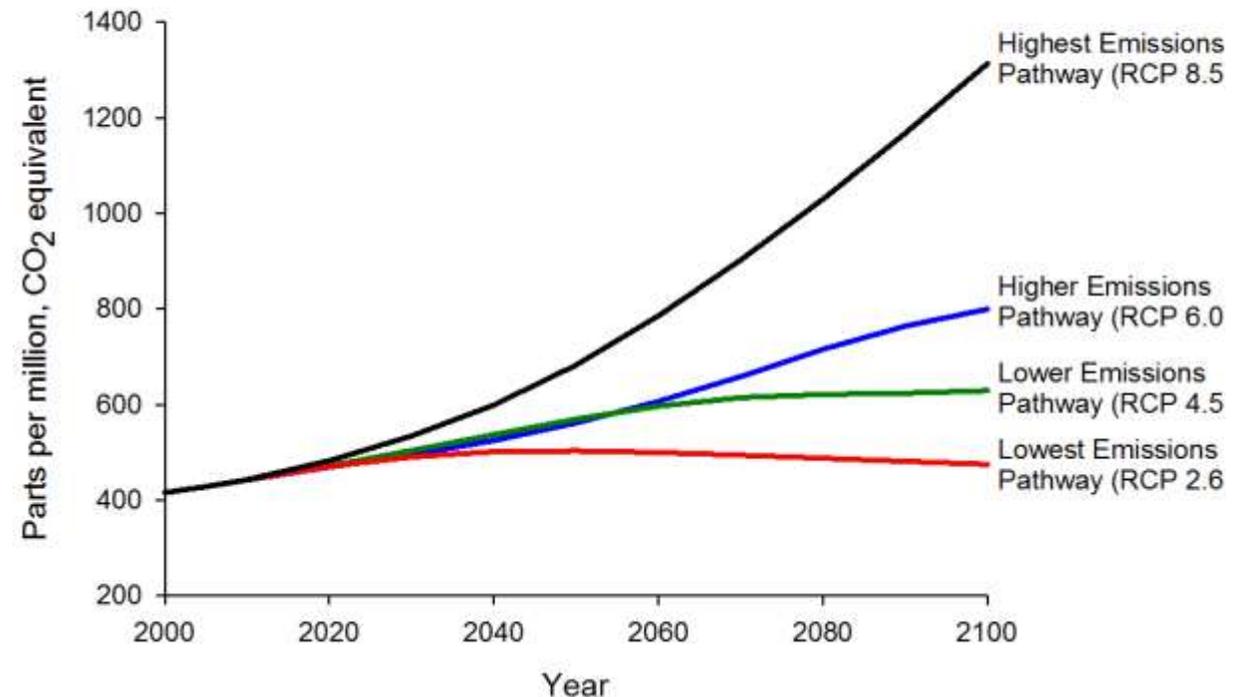
"Trajetórias representativas do CO2"



Relação entre Economia e Emissões

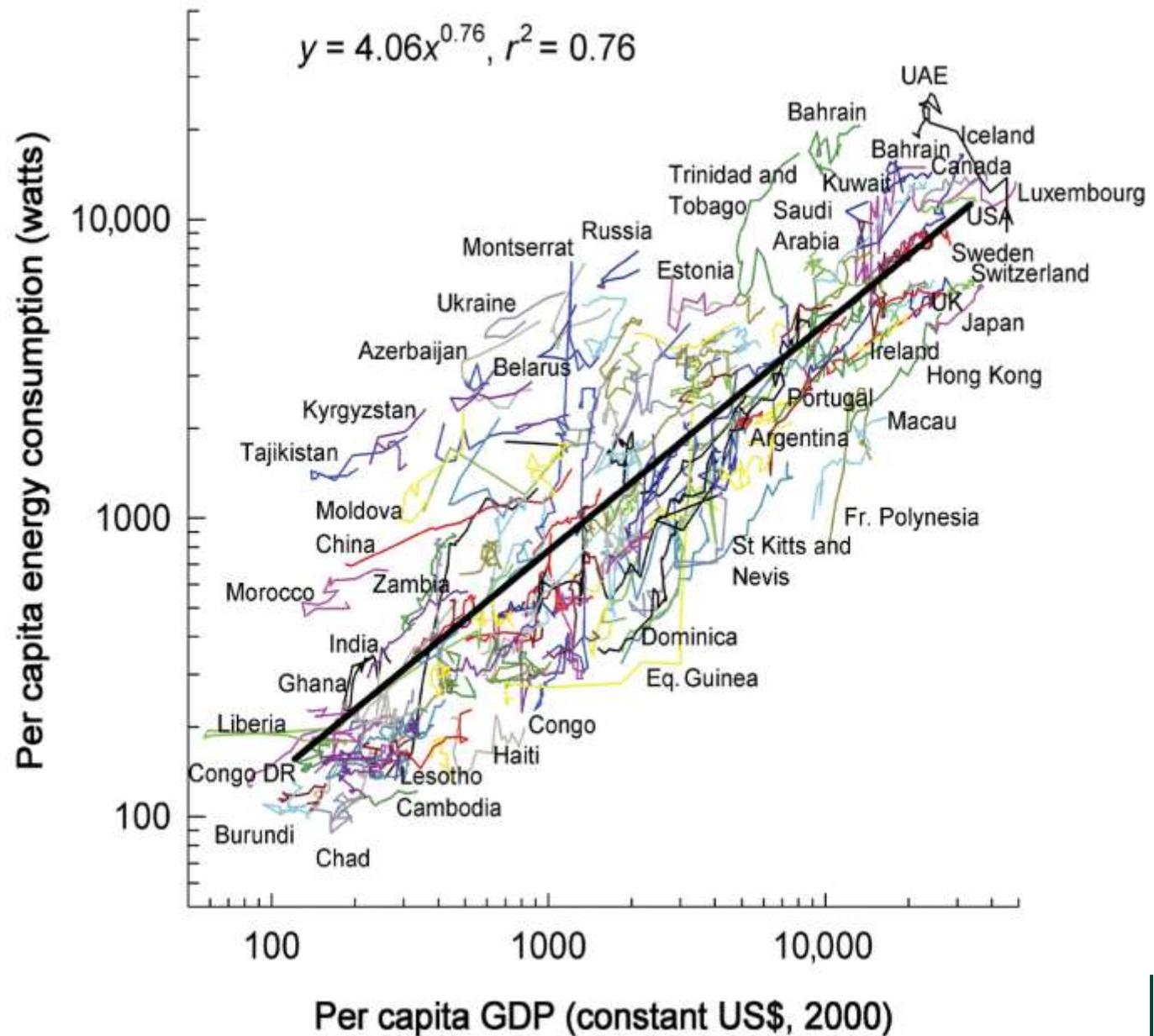


Projected Atmospheric Greenhouse Gas Concentrations



RCP - "Representative Concentration Pathways"

Relação entre energia e desenvolvimento econômico



Brown et al. 2011. Energetic Limits to
LEB 41 Economic Growth. BioScience 61, 19–26.

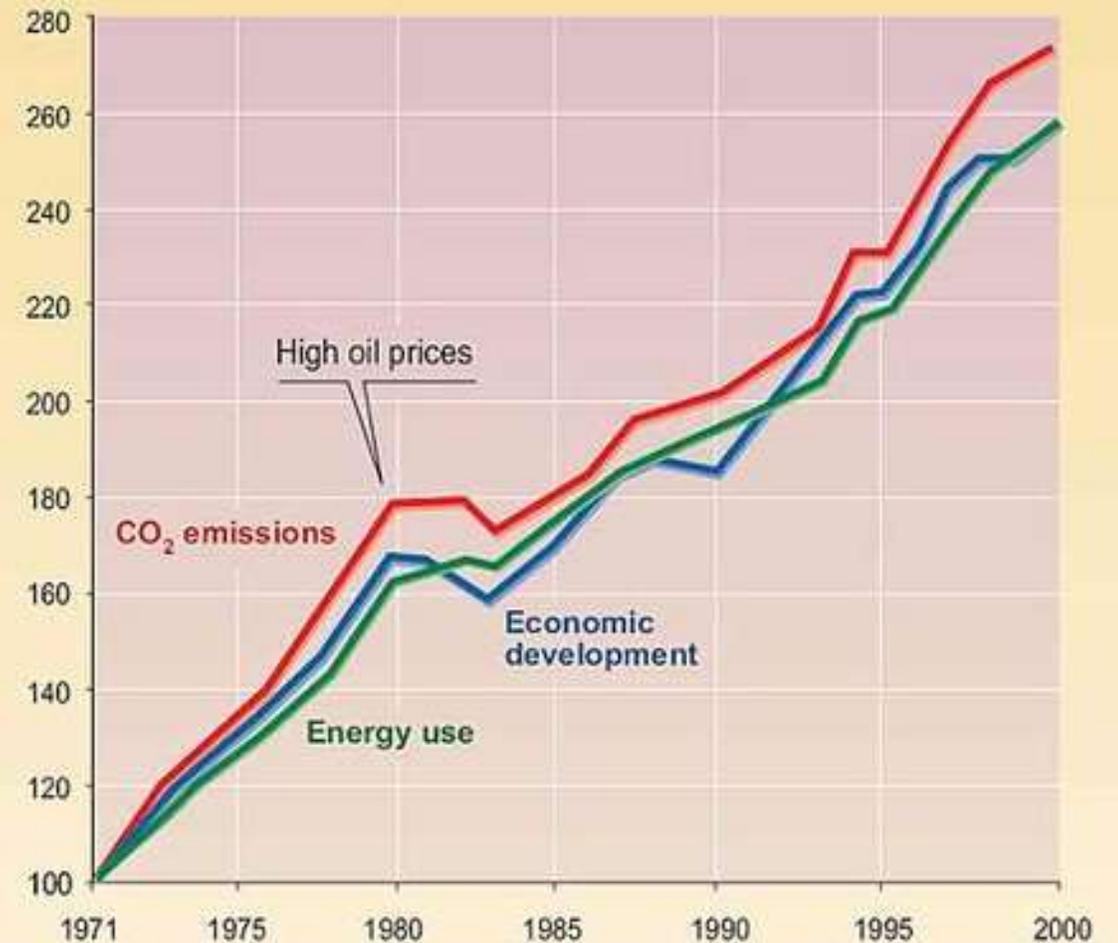
Marin



Relação entre energia e emissões

CO₂ emissions, energy use and economic development
Latin America and the Caribbean

Index=100 in 1971



GRID
Arendal

United Nations Environment Programme / GRID-Arendal

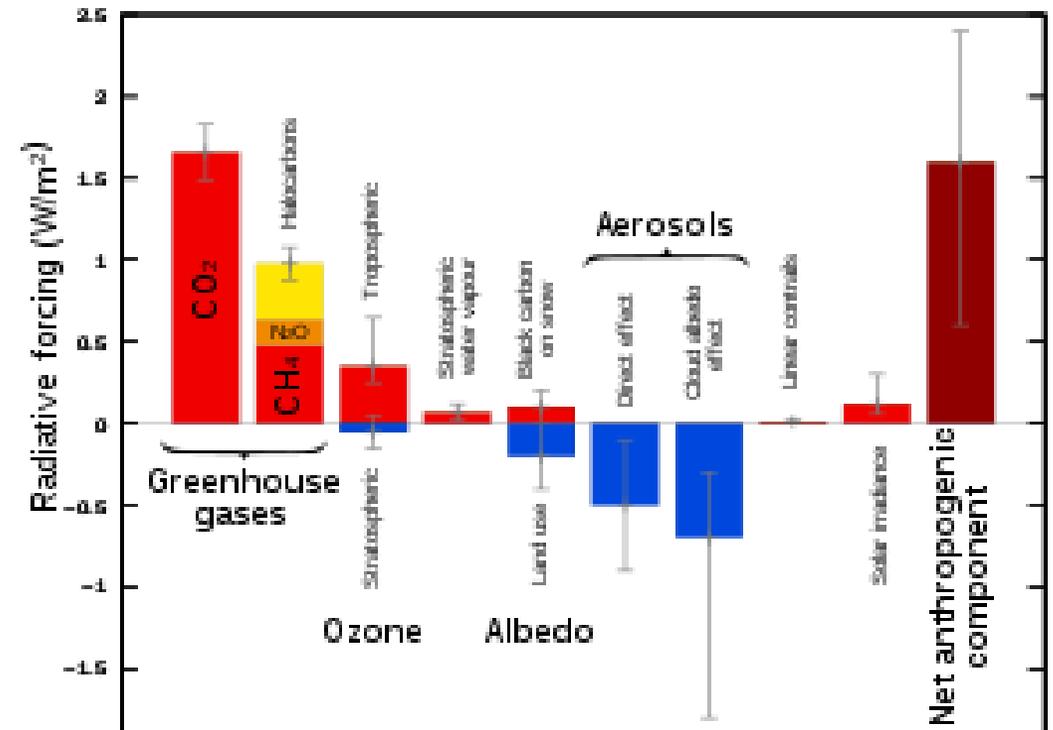
Source: World Resources Institute

<https://www.grida.no/resources/6518>

Forçante Radiativa

Definição: Mudança no fluxo radiativo ascendente resultante, permitindo o reajuste da temperatura da estratosfera após o equilíbrio radiativo, mantendo-se a temperatura da superfície e da troposfera fixados nos valores não perturbados.

Radiative-forcing components

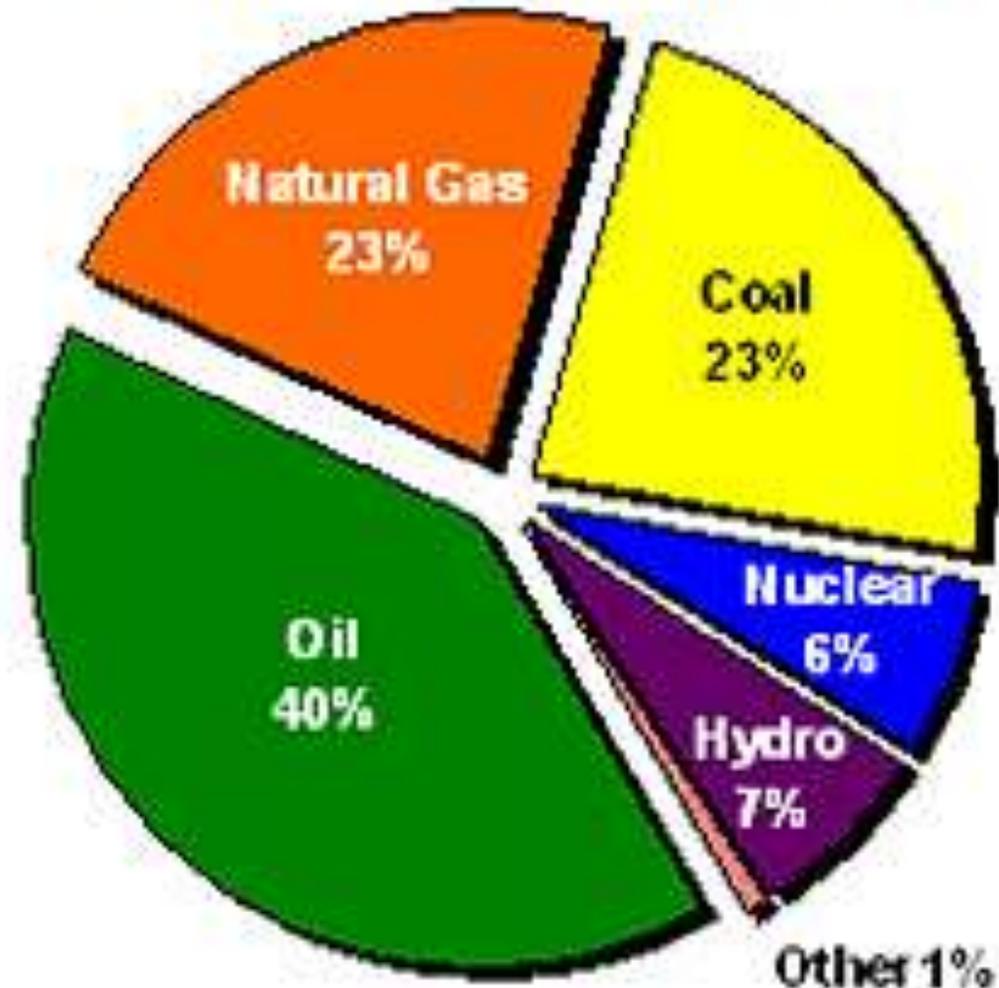


A questão da energia...

Para entender, lembre-se de que:

1. No passado, o petróleo era abundante e muito barato;
2. Havia incentivo ao uso;
3. A economia atual é muito dependente de petróleo
4. Não havia preocupação ambiental no passado;
5. A discussão sobre a mudança no clima tem relação com interesses econômicos.

Onde o Mundo Consegue Energia?



U.S. Energy Information Administration

Ciclo do Carbono - Petróleo



**Combustão nos
Automóveis**



Atmosfera

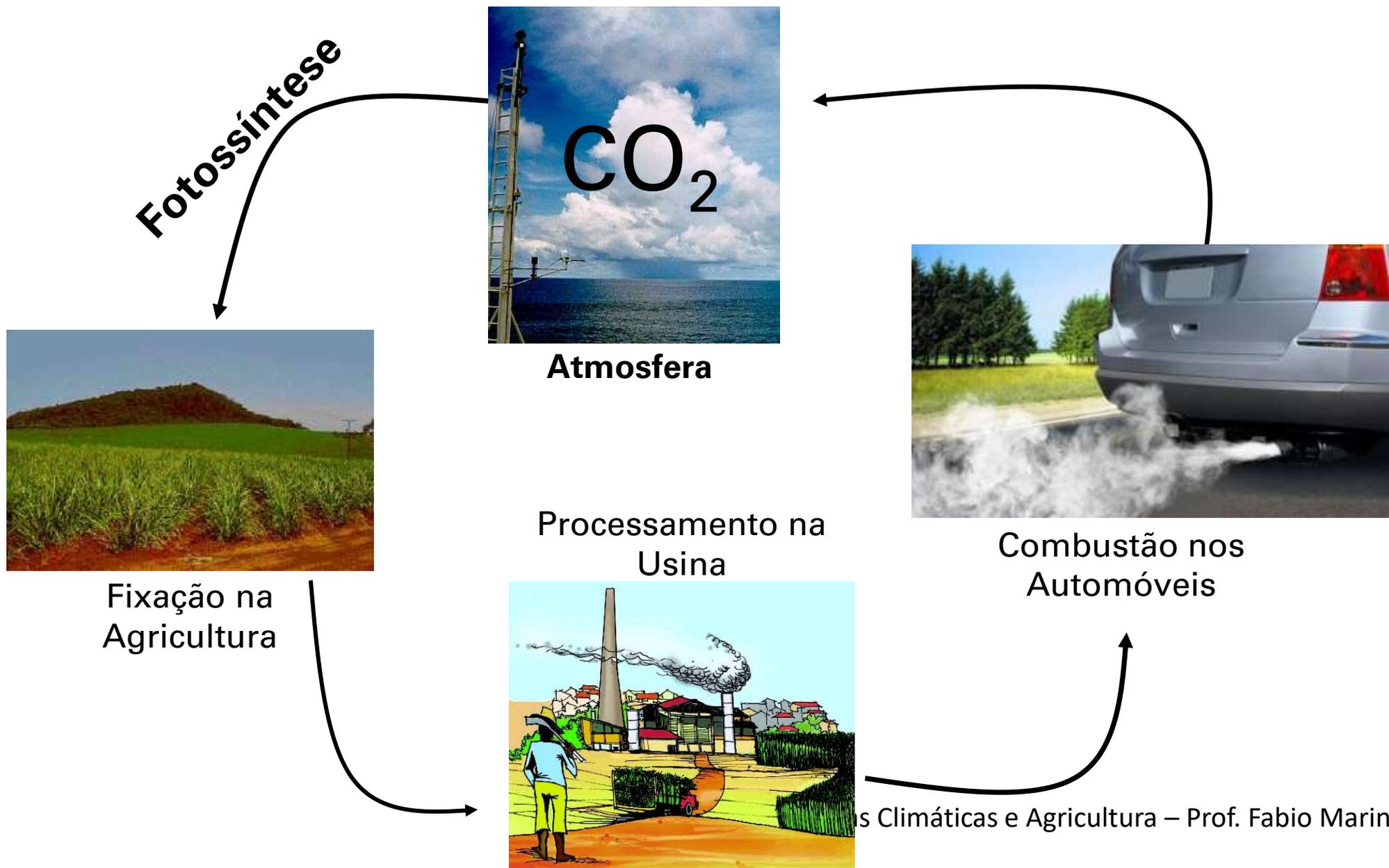


Refinaria

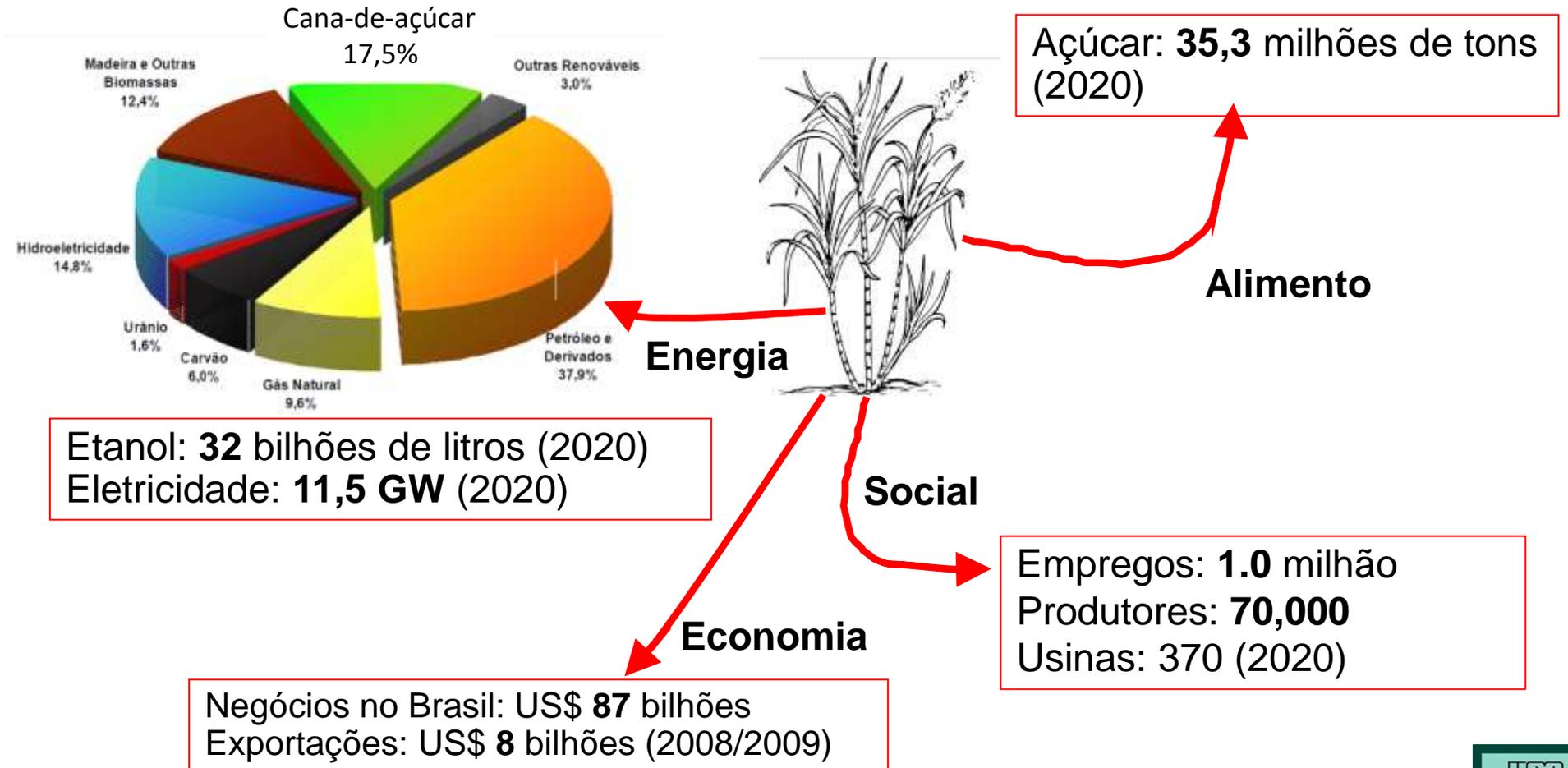


Poço de Petróleo

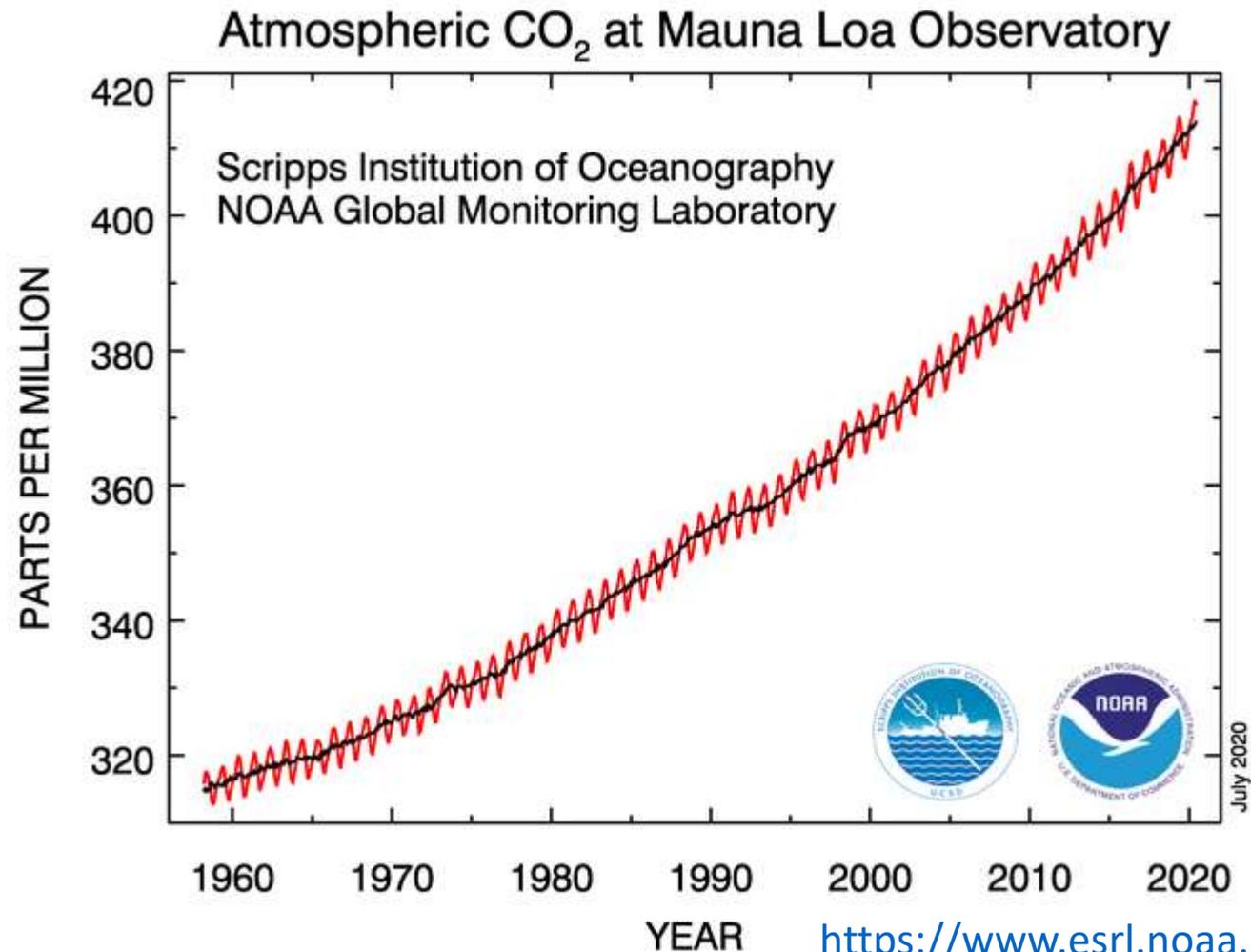
Ciclo do Carbono - Bioenergia



Cana-de-Açúcar no Brasil



Histórico da concentração de CO₂ na estação de Mauna Loa, no Havai.

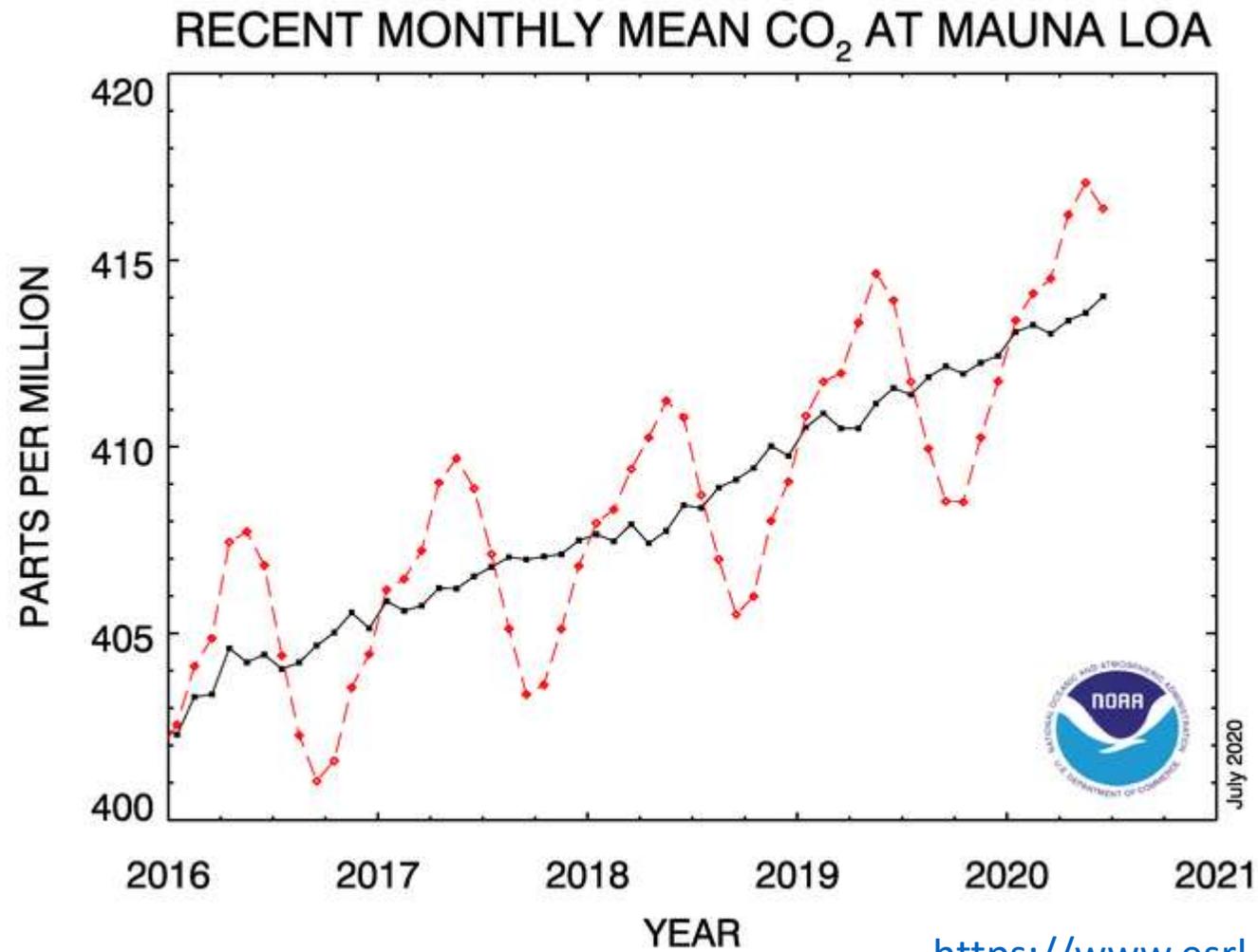


<https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>

Prof. Fabio Marin



Médias mensais recentes de CO₂ na atmosfera

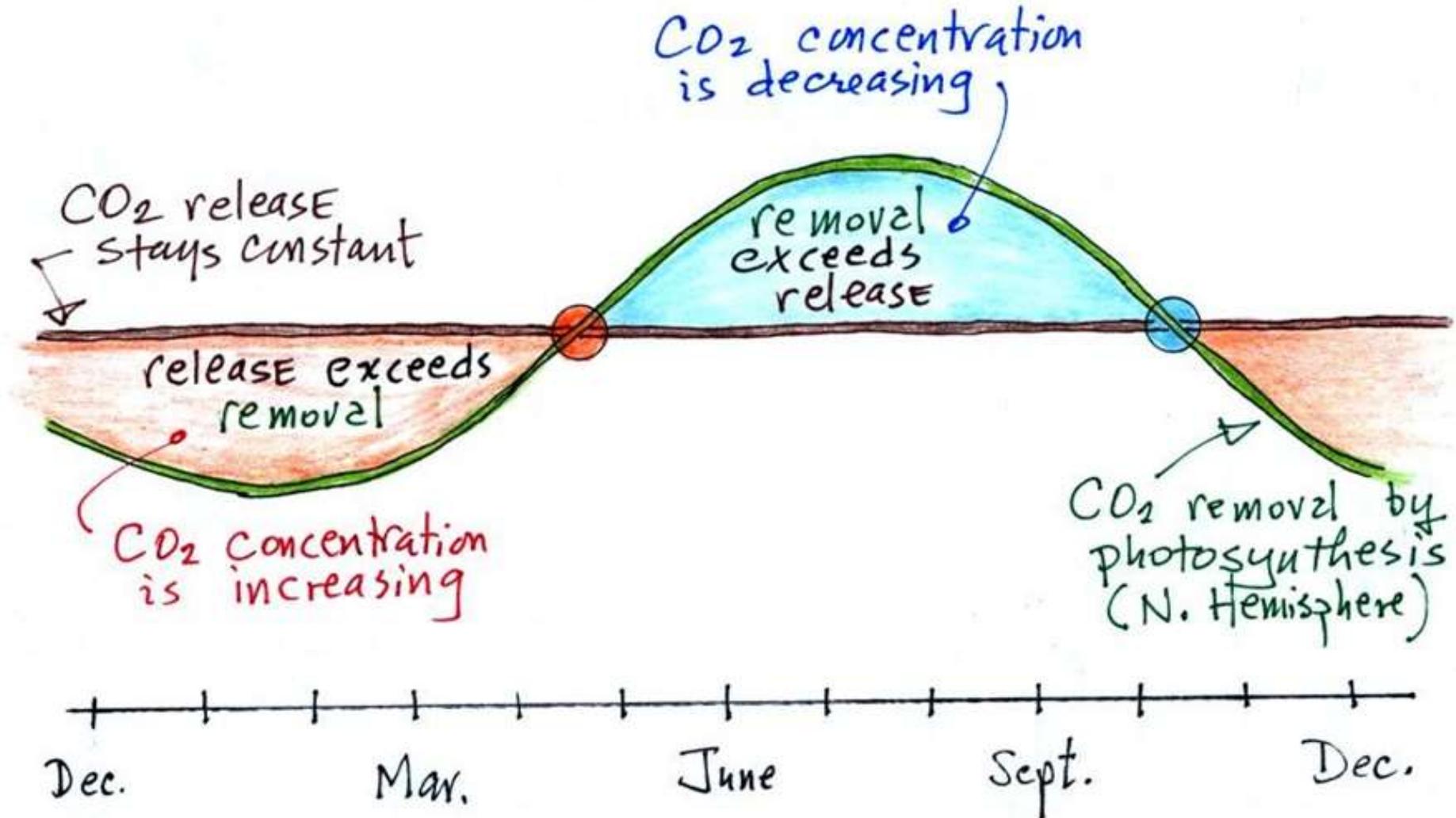


<https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>

Prof. Fabio Mann



Entendendo a variação anual do [CO₂]



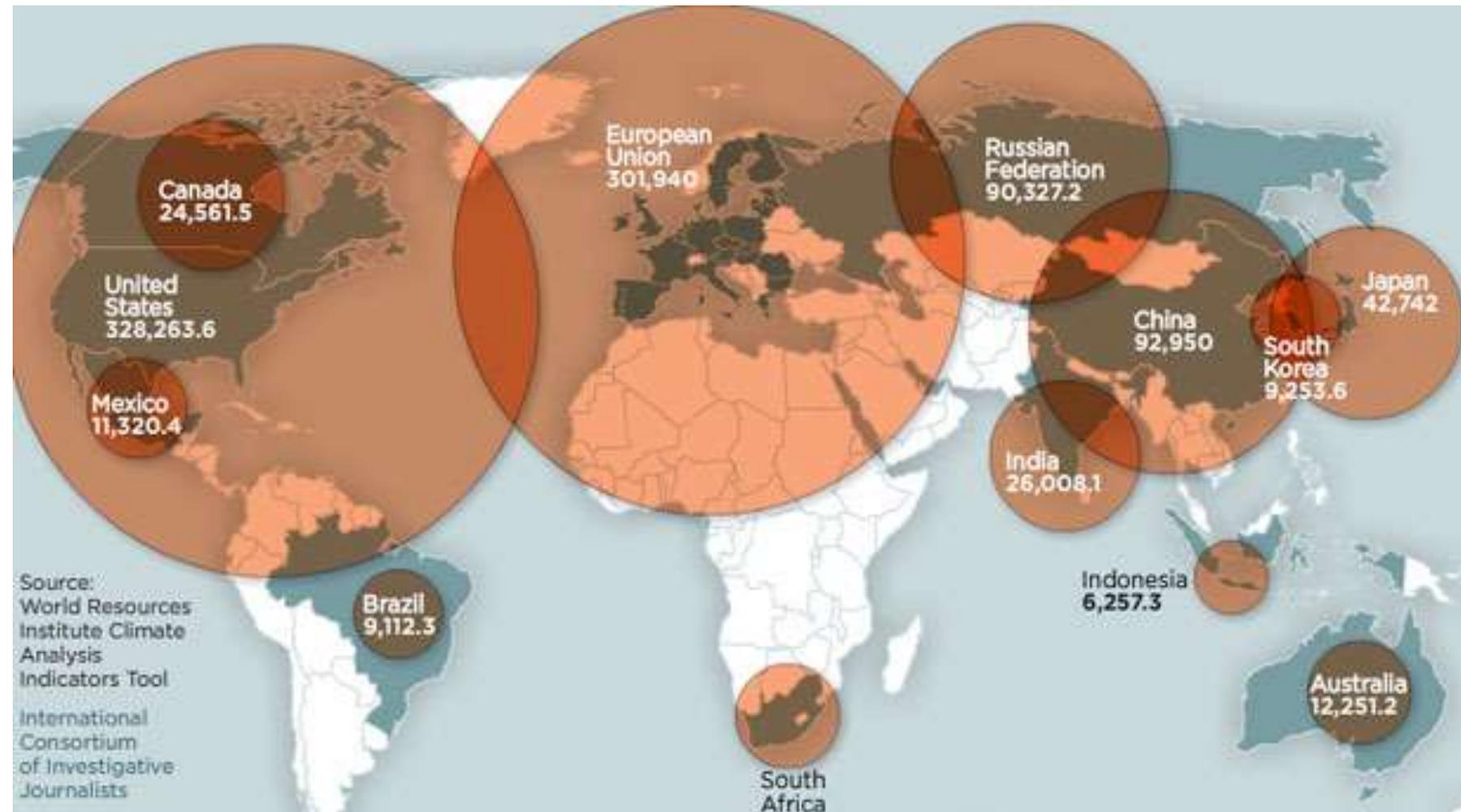
Quem emite mais... ?



Quem emite mais... per capita!

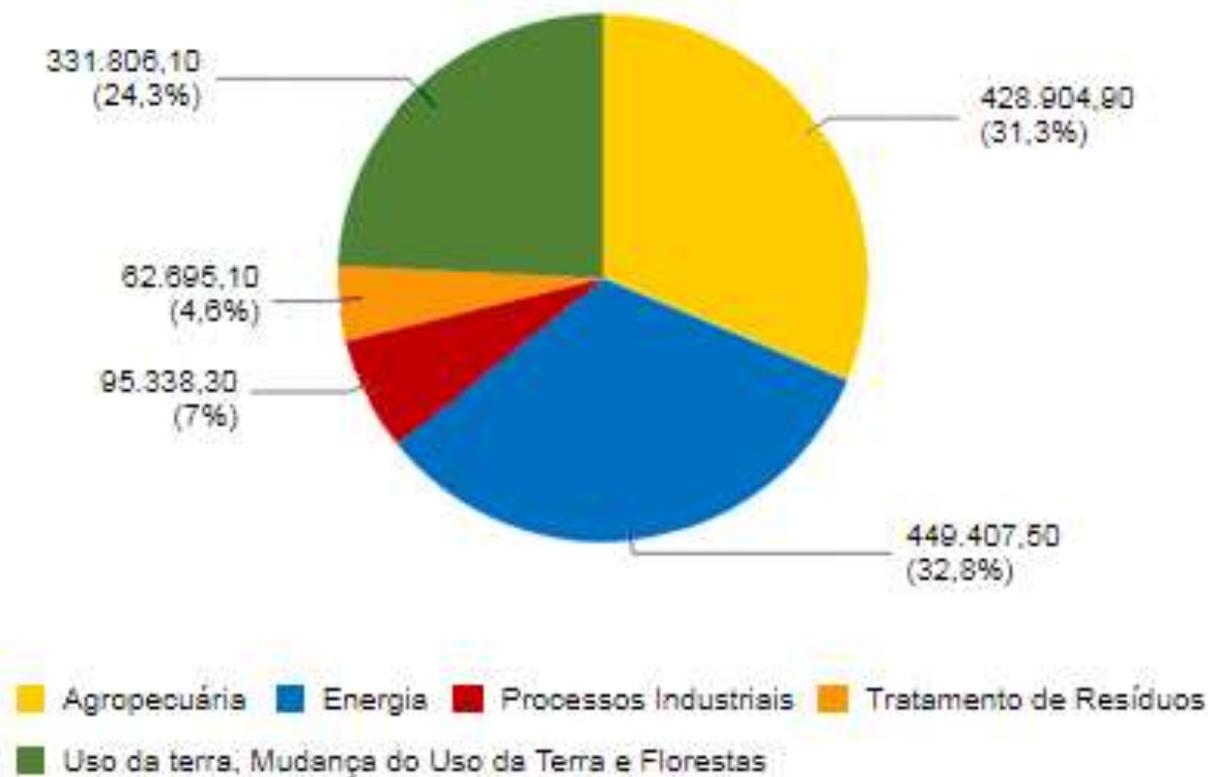


Quem emitiu mais... até hoje!



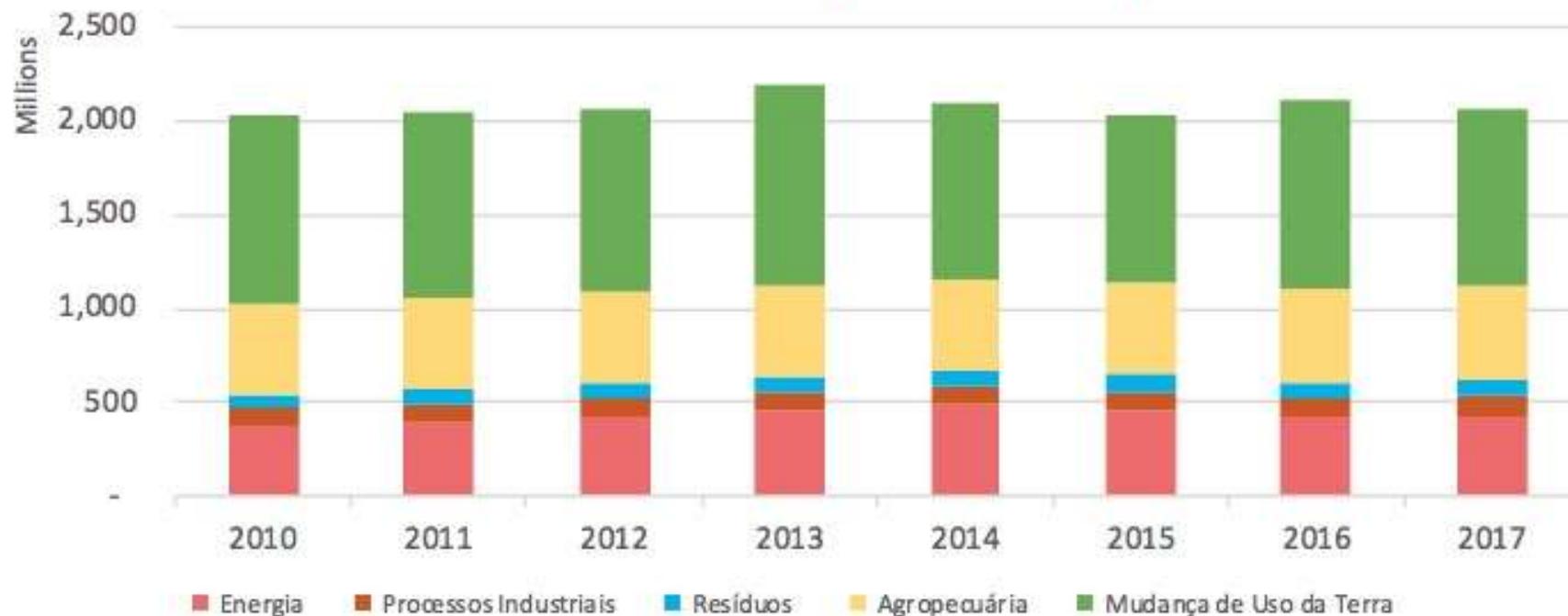
Emissões brasileiras

Participação de emissões de gases por setor



Emissões brasileiras

Estimativa de Emissões de GEE no Brasil 2010-2017 (Mt CO₂e)



Um resumo geral para entender as nuances do debate sobre a mudança no clima

