

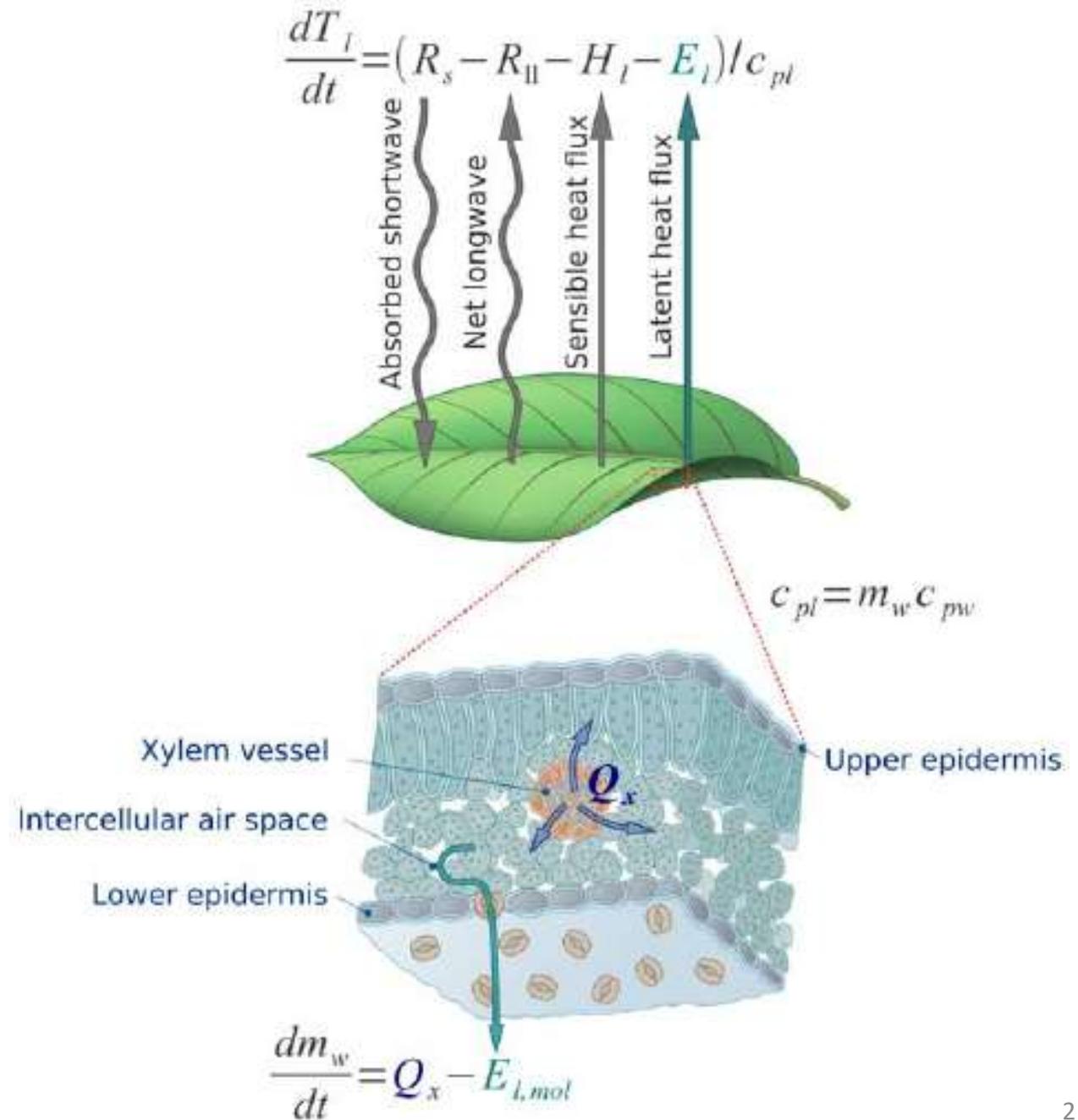
# Aula 3- Balanço de radiação e energia em superfícies naturais

Prof. Fábio Marin

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ"  
Departamento de Engenharia de Biosistemas  
LEB 306 – Meteorologia Agrícola

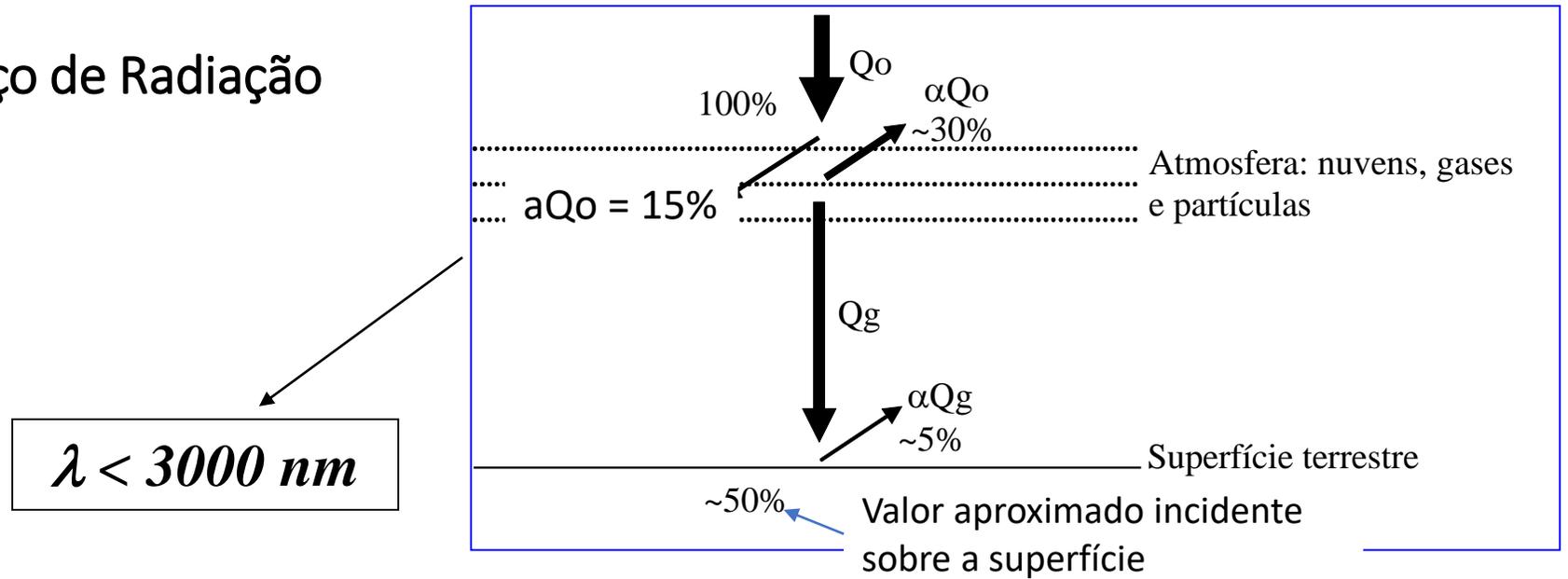


# Balço de Radiao para uma Folha



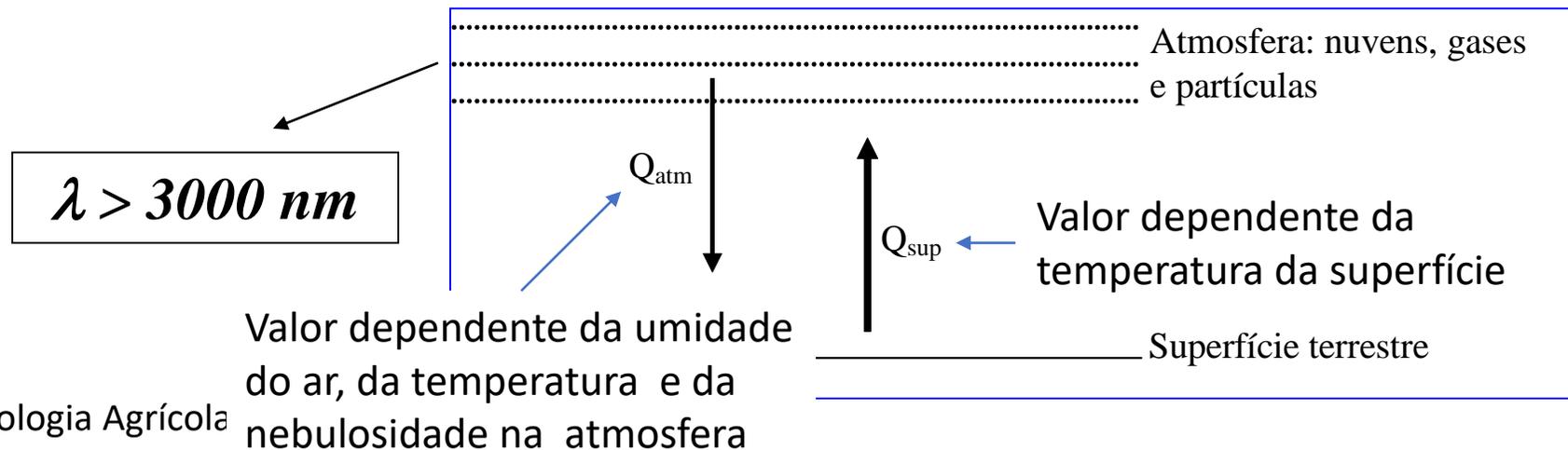
### Balanco médio de ondas curtas:

### Balanco de Radiação



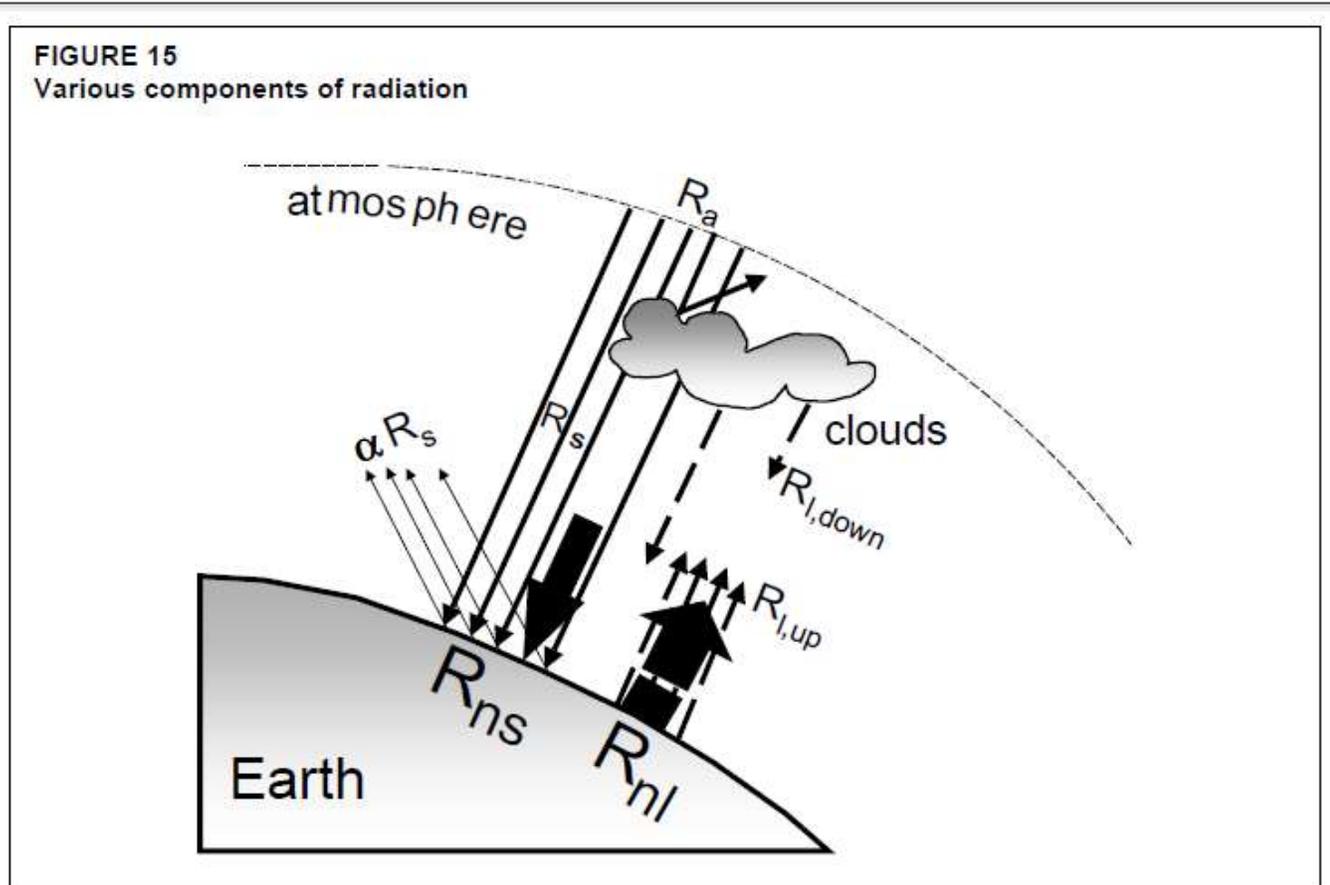
Nota: nesta figura,  $\alpha$  (alfa) representa o coeficiente de reflexão ( $r$ )

### Balanco médio de ondas longas:



# Balanço de Radiação

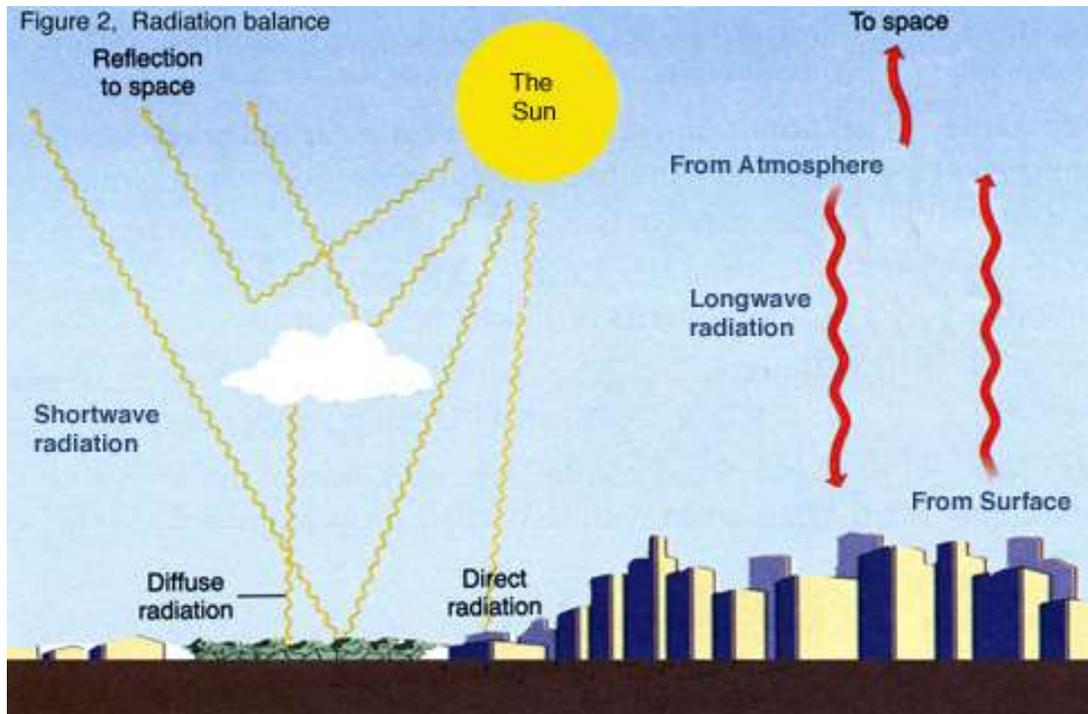
A Terra reflete a radiação (de ondas curtas) emitida pelo Sol, mas também emite sua própria radiação (de ondas longas). Atenção nisso: Qualquer corpo, ao emitir radiação, perde energia e por isso esfria. Essa é a razão da noite ser mais fria que o dia e a temperatura mínima ocorrer um pouco antes do nascer do Sol.



Fonte: Boletim FAO 56

# Balanço de Radiação

- Saldo de radiação ( $R_n$ )
- $R_n = BOC + BOL$



$$BOC = Q_g - rQ_g$$

$$BOL = Q_a - Q_s$$

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

Dia: Positivo  
Noite: negativo

Dia: negativo  
Noite: negativo

Dia: positivo  
Noite: negativo

Balanço de ondas curtas - BOC

$$\text{BOC} = Q_g - rQ_g = Q_g (1 - r)$$

Balanço de ondas longas - BOL

$$\text{BOL} = Q_{atm} - Q_{sup}$$

Saldo de Radiação = BOC + BOL

$$R_n = \text{BOC} + \text{BOL} = Q_g - rQ_g + Q_{atm} - Q_{sup}$$

Lei de Stefan-Boltzmann

$$Q_{atm} = \varepsilon_{atm} \cdot \sigma \cdot T_{atm}^4$$

$$Q_{sup} = \varepsilon_{sup} \cdot \sigma \cdot T_{sup}^4$$

Tabela 10.1. Coeficientes de reflexão ( $r$ ) para algumas superfícies. Adaptado de Rosenberg et al. (1983) e de Vianello & Alves (1991).

Superfície	Coef. de Reflexão (r, %)	Superfície	Coef. de Reflexão (r, %)
Água	5	Trigo	24
Areia seca	35 a 45	Feijão	24
Areia úmida	20 a 30	Tomate	23
Solo claro seco	25 a 45	Abacaxi	15
Solo cinza	10 a 20	Sorgo	20
Solo escuro	5 a 15	Videira	18
Gramado	20 a 30	Floresta	10 a 15
Algodão	20 a 22	Nuvens	50 a 90
Alface	22	Animal de pelo preto	10
Milho	16 a 23	Animal de pelo vermelho	18
Arroz	12	Animal de pelo amarelo	40
Batata	20	Animal de pelo branco	50

# Medida do Saldo de Radiação

## Saldo radiômetros

Medida separada dos balanços de ondas curtas e longas



Medida conjugada dos balanços de ondas curtas e longas



# Balanço de Radiação

- Aproximação da equação de Brunt (1932) segundo Allen et al. (1998):

Admite-se que  $T_{sup} \cong T_{atm}$ , que  $\varepsilon_{sup} \cong 1$  e que  $\varepsilon_{atm} \propto$  umidade do ar (ea), tem-se que:

$$BOL = \left[ \sigma * \left[ \frac{T_{max}^4 + T_{min}^4}{2} \right] * (0,34 - 0,14 * \sqrt{e_a}) * \left( 1,35 \frac{Q_g}{Qg_{cs}} - 0,35 \right) \right]$$

$$Qg_{cs} = (0,75 + 2 \cdot 10^{-5} \cdot z) \cdot Qo$$

→ Z é a altitude da estação (m)

$Qg_{cs}$  é o valor teórico de  $Qg$  em um dia sem qualquer nebulosidade

- Estimativa do Saldo de radiação (SR) -

$$Rn = Qg(1 - r) - \left\{ \sigma * \left[ \frac{(T_{max}^4 + T_{min}^4)}{2} \right] * (0,34 - 0,14 * \sqrt{e_a}) * \left( 1,35 \frac{Q_g}{Qg_{cs}} - 0,35 \right) \right\}$$

# Unidades das Equações

BOL – ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ )

$\sigma$  (constante Stefan-Boltzmann) – ( $4,903 \cdot 10^{-9} \text{ MJ K}^{-4} \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$   
ou

$5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W K}^{-4} \text{ m}^{-2}$ )

$T_{\text{max}}$  – temperatura máxima diária ( $\text{K} = \text{T}^{\circ}\text{C} + 273,16$ )

$T_{\text{min}}$  – temperatura mínima diária ( $\text{K} = \text{T}^{\circ}\text{C} + 273,16$ )

$e_a$  – pressão atual de vapor (kPa)

$Q_g/Q_{g_{cs}}$  radiação de onda curta relativa – (varia entre 0 e 1, adimensional)

$Q_g$  radiação solar medida ou estimada (métodos estudados) – ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ )

$Q_{g_{cs}}$  radiação solar céu límpido (sem nuvens) - ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ )

SR – saldo de radiação - ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  ou  $\text{W m}^{-2}$ )

# Exercício rápido

Calcule o saldo de radiação de uma área gramada, para hoje em Piracicaba (lat: 22°42'30''S, alt. 546m), assumindo que os dados diários registrados na estação foram:

- $T_{\max} = 34,1^{\circ}\text{C}$
- $T_{\min} = 20,6^{\circ}\text{C}$
- $e_a = 1,31\text{kPa}$
- $n = 10,5$  horas
- albedo do gramado ( $r$ ) = 0,23

# BALANÇO DE ENERGIA

*Nos informa sobre quais processos consumiram a energia produzida pelo balanço de radiação*

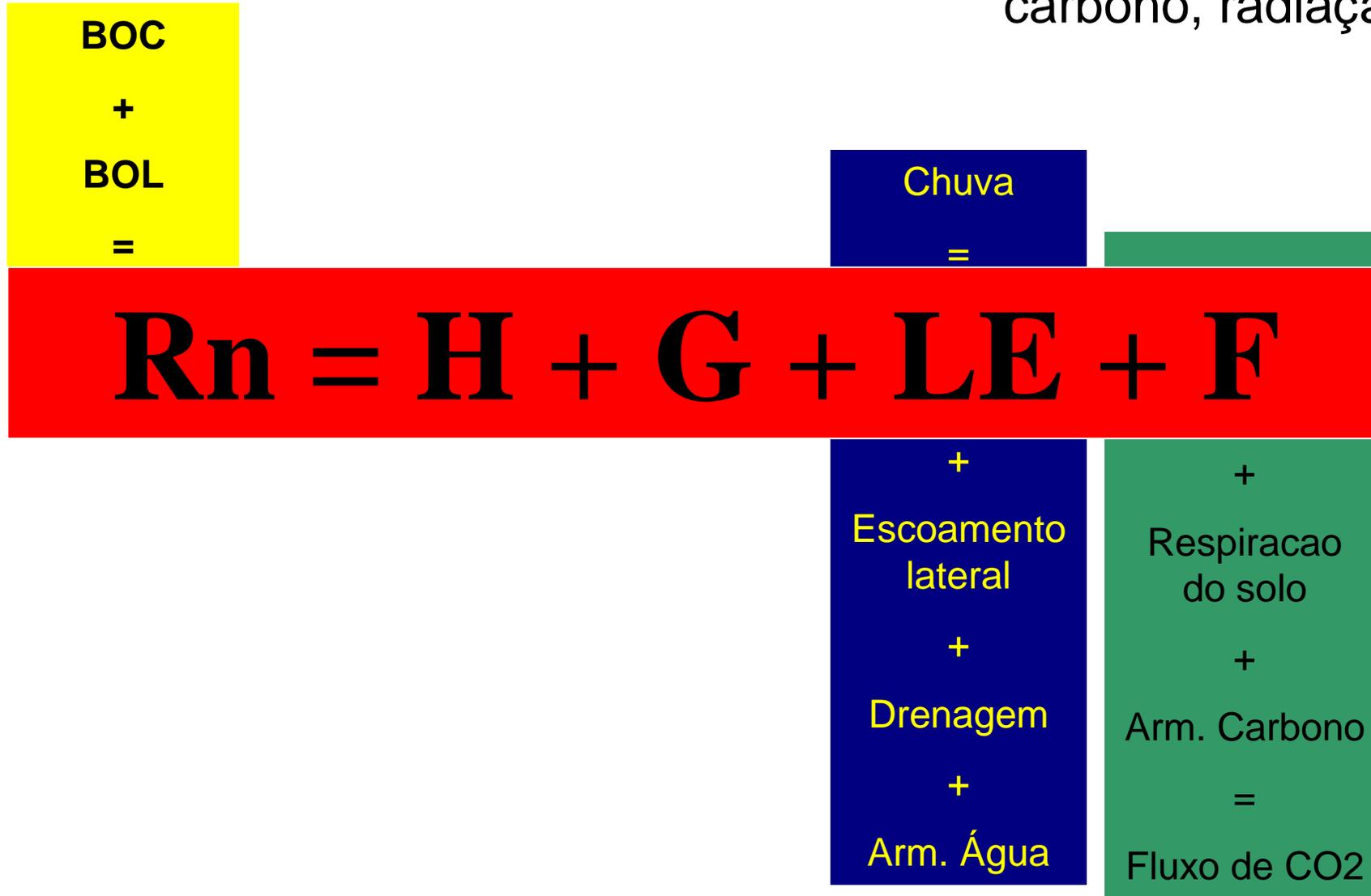
$$\text{BOC} + \text{BOL} = \text{Rn}$$

**Balanço de Radiação**

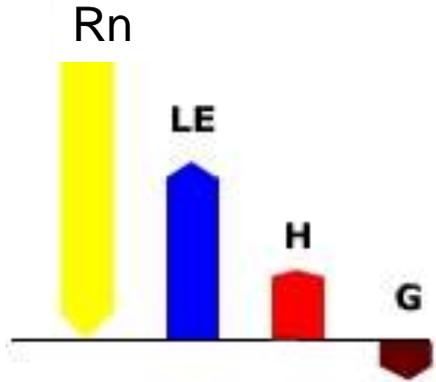
$$\text{Rn} = \text{Calor Sensível} + \text{Calor no Solo} + \text{Calor Latente} + \text{Fotossíntese}$$

**Balanço de Energia**

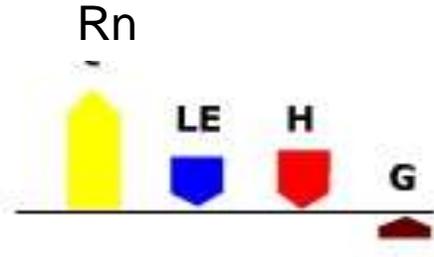
Representação esquemática dos fluxos de água, carbono, radiação e energia na biosfera.



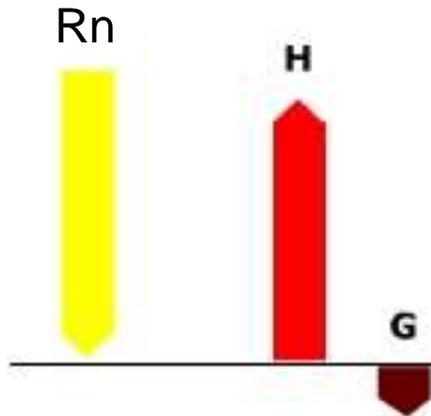
Superfície úmida - dia



Superfície úmida - noite



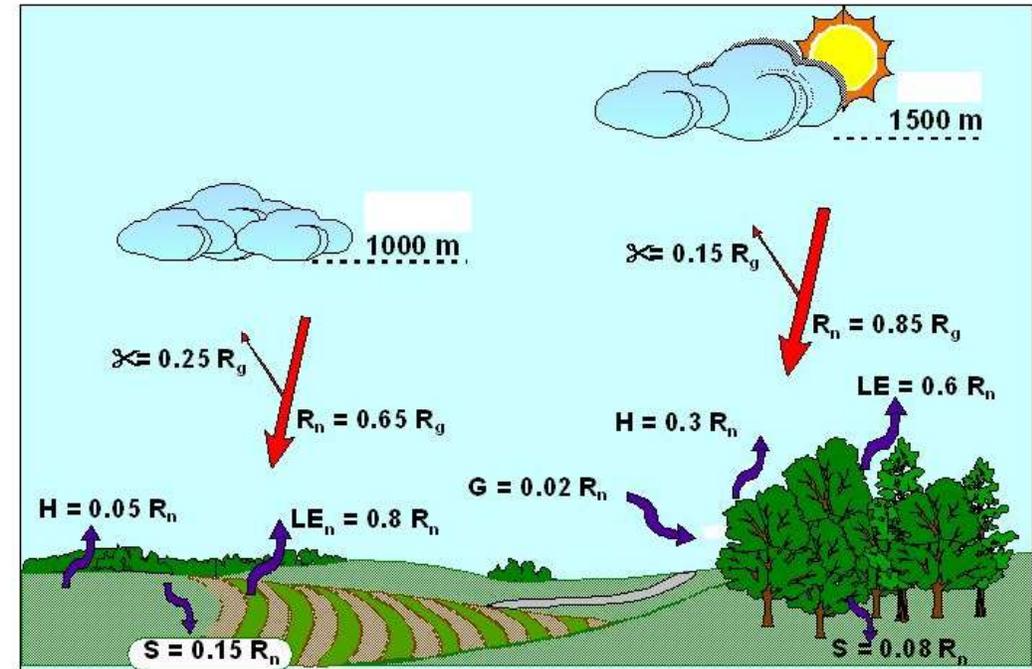
Superfície seca - dia



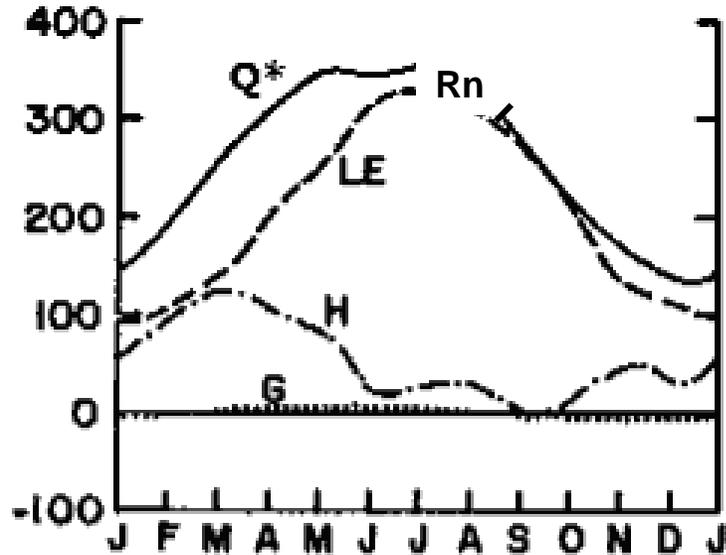
Normalmente, quando a superfície está úmida LE predomina, consumindo cerca de 70 a 80% de  $R_n$

Sob condição de superfície seca, o processo de aquecimento do ar predomina

Efeito das culturas e florestas sobre o balanço de energia da superfície



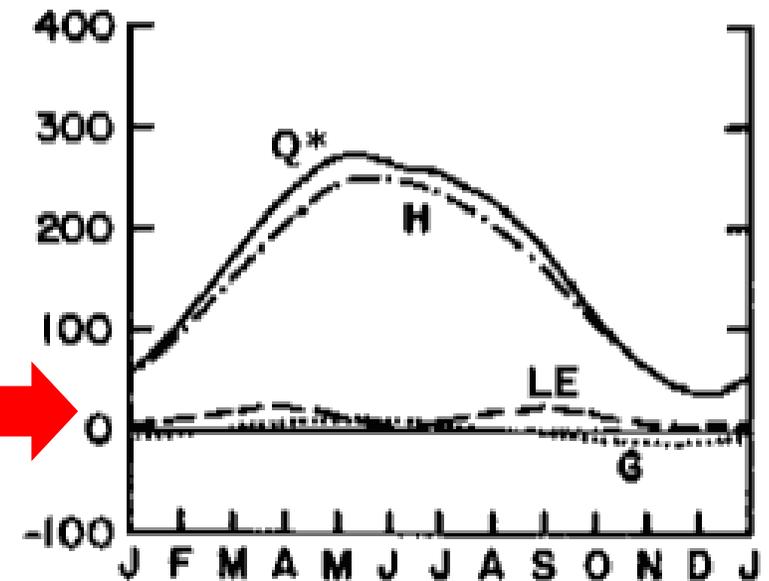
West Palm Beach, Florida (26.7°N)



$LE/R_n \approx 0,75$   
 $H/R_n \approx 0,20$   
 $G \approx 0,05$

Ambiente  
Úmido

Yuma, Arizona (32.7°N)

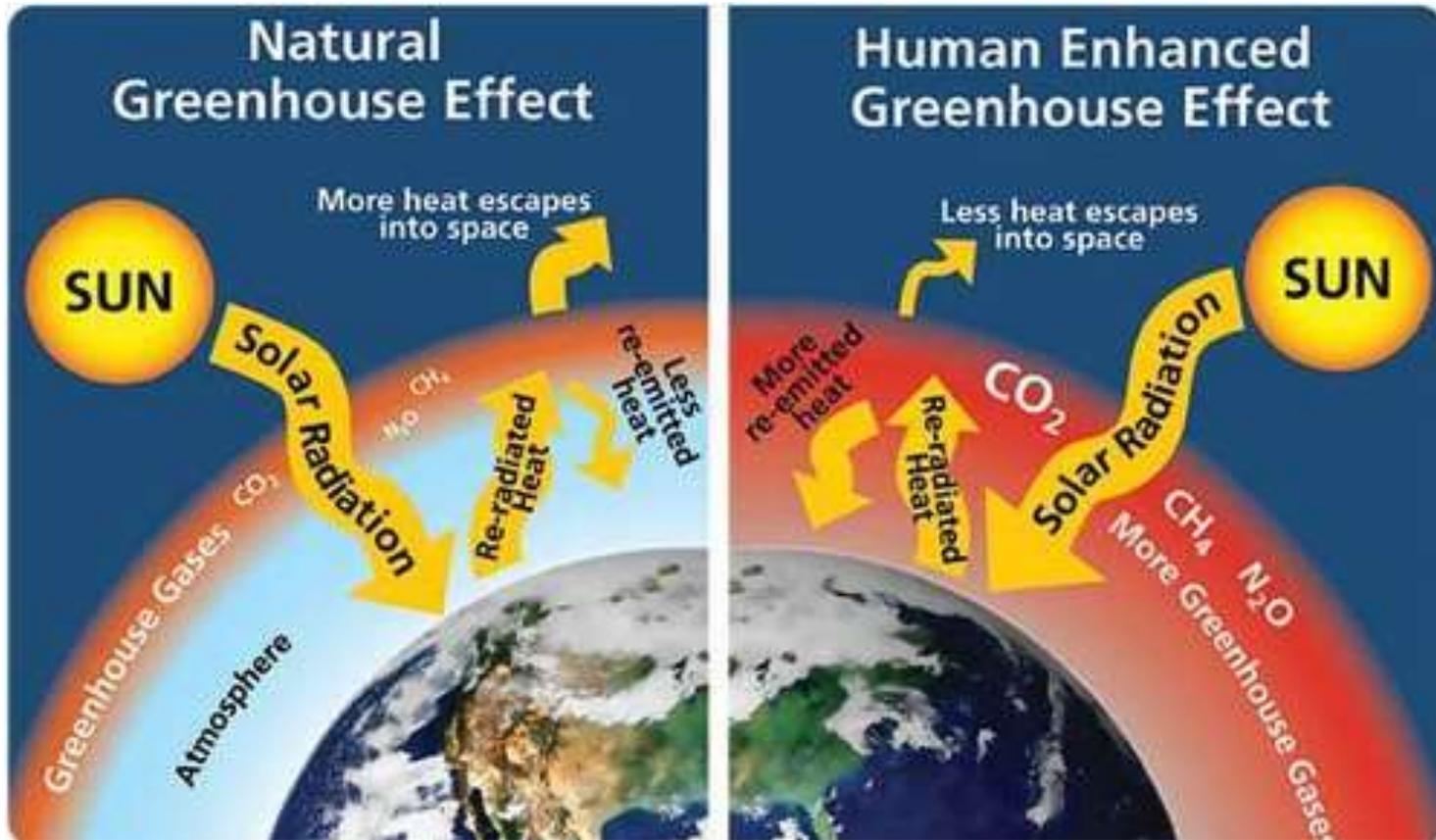


$LE/R_n \approx 0,10$   
 $H/R_n \approx 0,85$   
 $G \approx 0,05$



Ambiente  
Seco

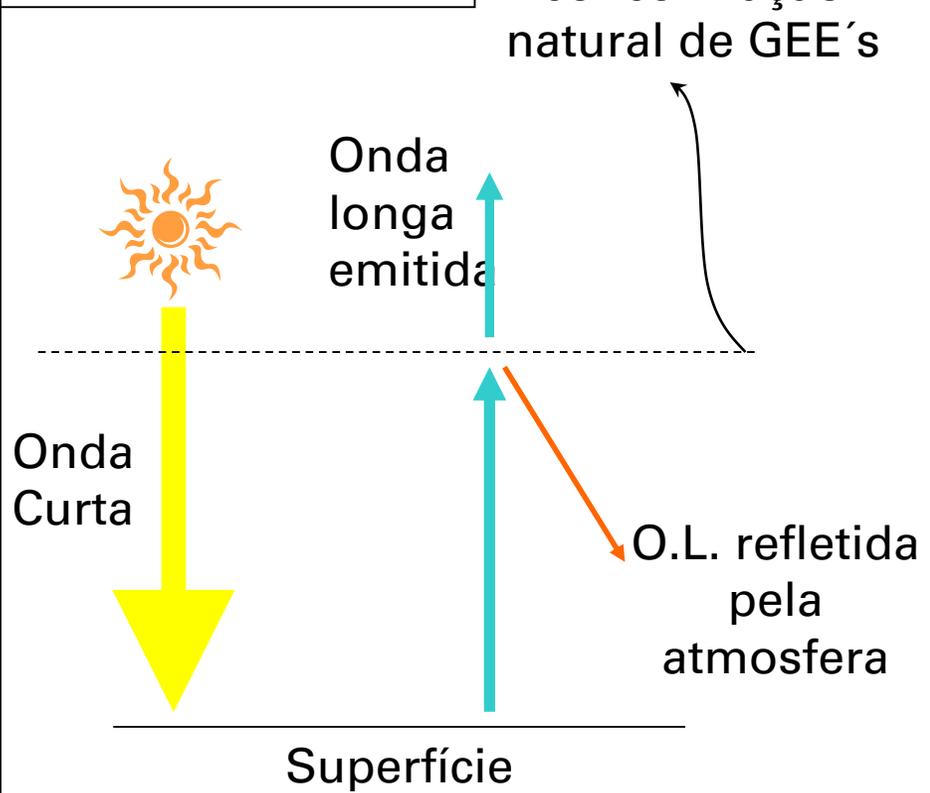
# Mudanças Climáticas



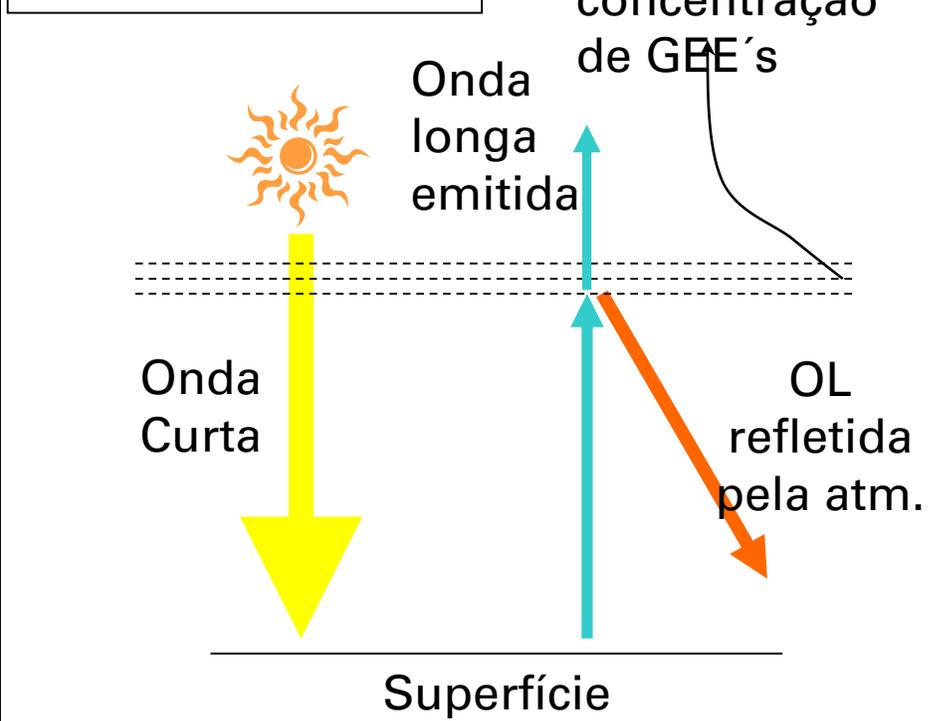
- GEE atuam como filtros para a OL emitida pela superfície – temperatura em torno dos 300 K;
- Ondas curtas emitidas pelo Sol (temperatura em torno dos 6000K) sofrem pouca interferência da atmosfera terrestre, causando desequilíbrio no balanço de radiação da Terra.

Efeito Estufa: bases físicas

### Efeito Estufa em condições normais



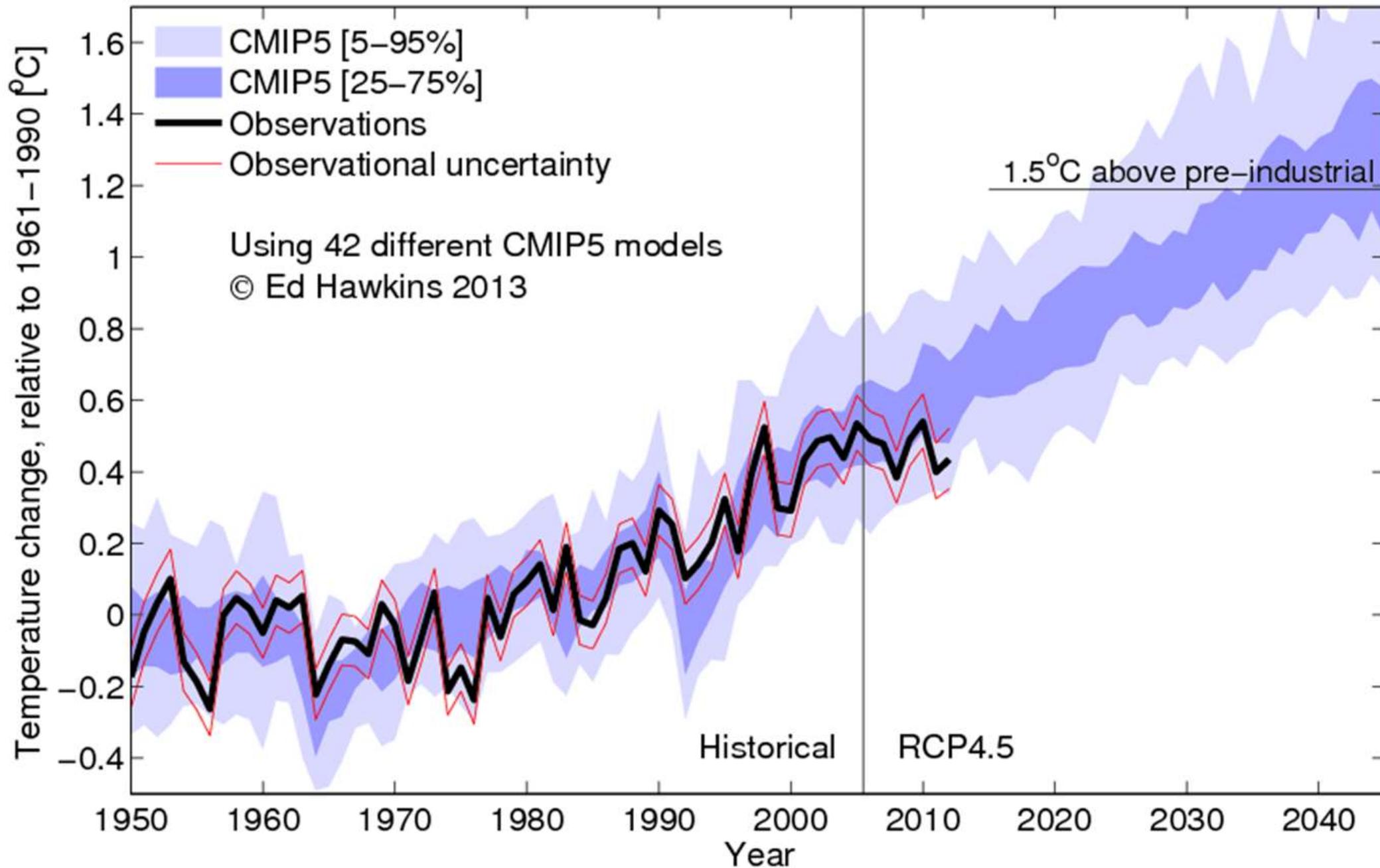
### Efeito Estufa com atmosfera alterada



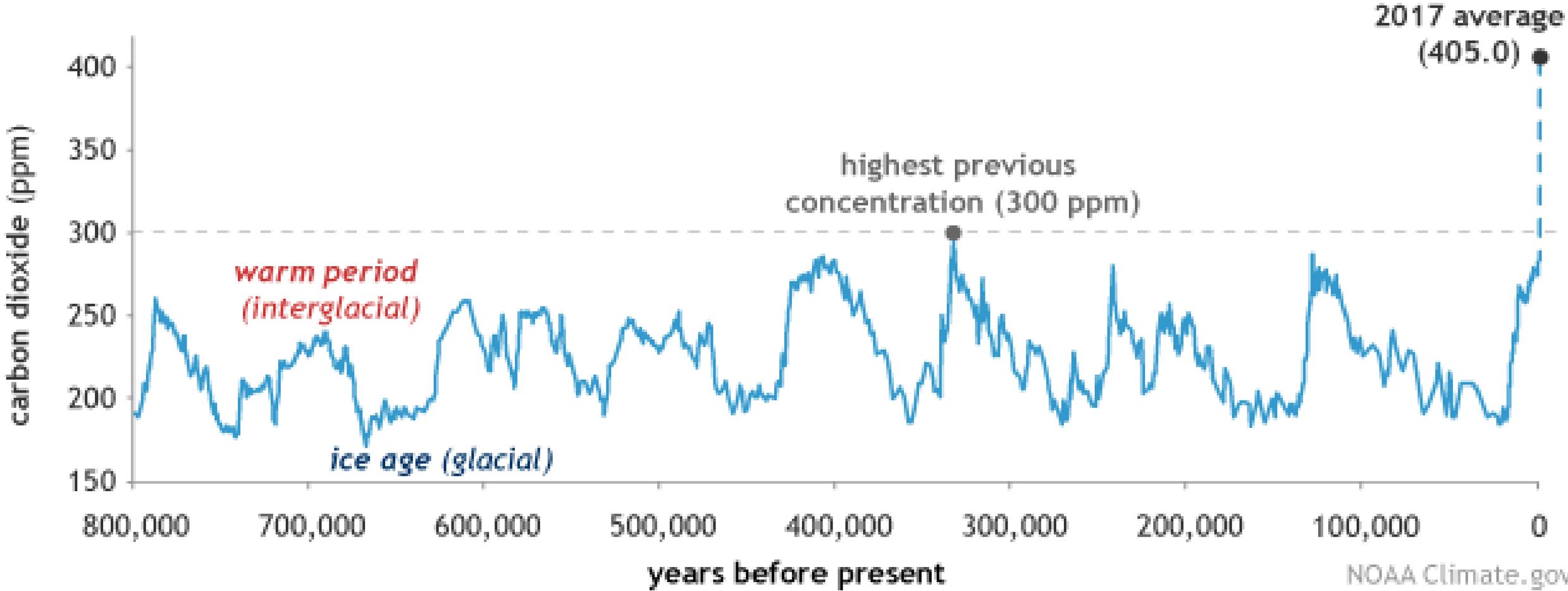
A quantidade de energia que chega ao sistema permanece o mesmo, mas uma parte da energia que era emitida ao espaço fica retida, aumentando sua temperatura.



# GLOBAL TEMPERATURES: comparing CMIP5 & HadCRUT4



# CO<sub>2</sub> during ice ages and warm periods for the past 800,000 years



NOAA Climate.gov  
Data: NCEI





# Balanço de Radiação e Geada

- Do ponto de vista meteorológico, geada é quando há deposição de gelo sobre as superfícies expostas ao relento em noites de intenso resfriamento. Neste caso, temperatura de  $0^{\circ}\text{C}$  é o suficiente para provocar a geada.
- Do ponto de vista agrônômico, geada é um fenômeno atmosférico que provoca a morte das plantas ou de suas partes (folhas, ramos, frutos), devido à ocorrência de baixas temperaturas que acarretam o congelamento dos tecidos vegetais, havendo ou não a formação de gelo sobre as plantas.



## Efeitos da Geada

- O congelamento do tecido gera extravasamento do conteúdo celular e ruptura da membrana plasmática.
- Os resultado desse fenômeno é a desidratação das células, com secamento das folhas, necrosamento dos vasos condutores necrosados e danos aos Nos frutos.

Cultura	Germinação	Florescimento	Frutificação
Trigo	-9	-2	-4
Aveia	-8	-2	-4
Feijão	-5	-3	-4
Girassol	-5	-3	-3
Soja	-3	-3	-3
Milho	-2	-2	-3
Sorgo	-2	-2	-3
Algodão	-1	-2	-3



# Sensibilidade à Geada

- Cada espécie (as vezes cada variedade!) tem uma temperatura letal abaixo da qual há morte dos vegetais.
- Ela pode ser variável em função da fase fenológica, estado nutricional e fitossanitário.

## Planejamento e Controle

---

A seleção de áreas e espécies/variedades

---

Regiões mais elevadas têm maiores riscos (macroescala);

---

Terrenos com face voltada para o Sul e áreas de vale podem ter “deposição” de ar frio com elevação do risco de geada (topoescala);

---

Uso de técnicas de consorciação, nebulização e cobertura de plântulas podem ser utilizadas para controlar as geadas (microescala).

Obrigatória:

Pereira, Angelocci, Sentelhas. Meteorologia Agrícola. Apostila. ESALQ. 2007.  
Caps 10 e 19.

Disponível em

[http://www.ler.esalq.usp.br/aulas/lce306/MeteorAgricola\\_Apostila2007.pdf](http://www.ler.esalq.usp.br/aulas/lce306/MeteorAgricola_Apostila2007.pdf)

# Leitura