

Tópico 4- Temperatura do ar e do solo

Prof. Fábio Marin

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA "LUIZ DE QUEIROZ"

Departamento de Engenharia de Biossistemas

LEB 306 – Meteorologia Agrícola



INTRODUÇÃO

- Temperatura - energia interna de uma substância ou um corpo qualquer, vulgarmente associado às sensações de frio e calor; mais especificamente é a medida da [energia cinética](#) associada ao movimento (vibração) aleatório das partículas.
- Diversas das propriedades físicas da matéria – se em estado sólido, líquido ou gasoso; sua densidade, solubilidade, pressão de vapor, condutividade hidráulica etc – são dependentes da temperatura do sistema em análise. Além de influenciar nas propriedades químicas, acelerando a velocidade das reações e do metabolismo nos seres vivos.
- Um dos principais fatores determinantes da distribuição e desenvolvimento das plantas e animais .



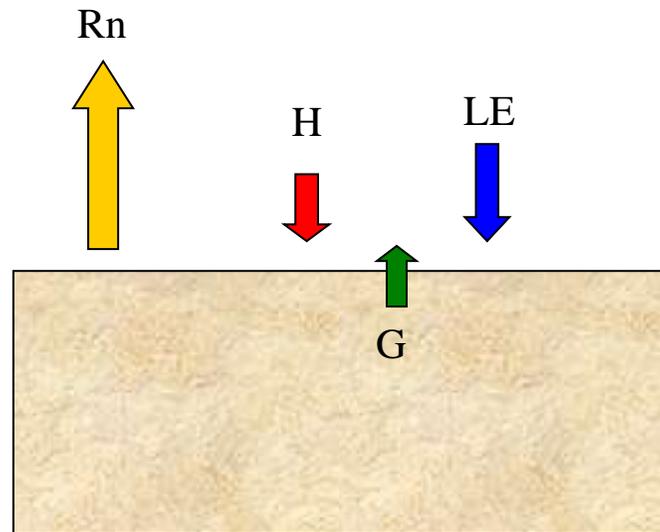
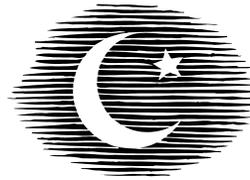
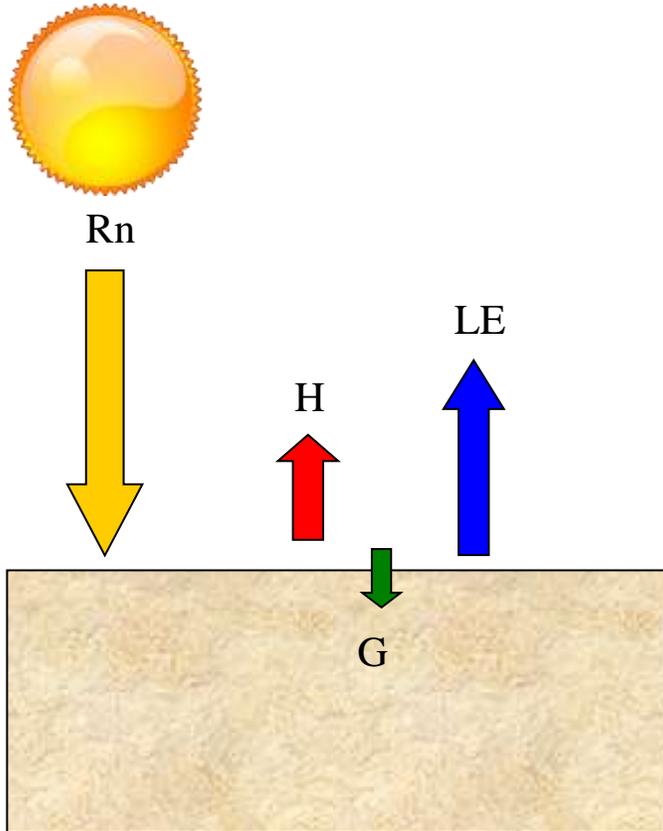
Rn = Saldo de Radiação

H = Fluxo de Calor Sensível

LE = Fluxo de Calor Latente

G = Fluxo de Calor no Solo

A composição e a magnitude do balanço de energia é altamente dependente da umidade do solo e do ar



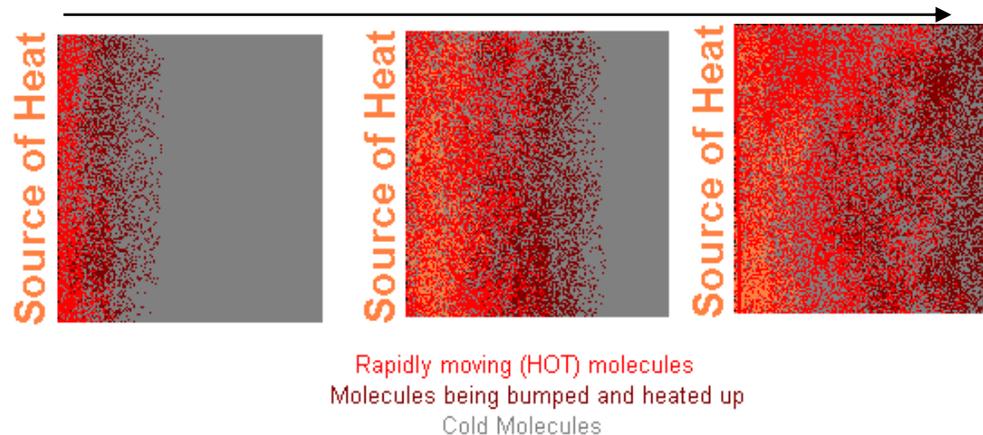
Temperatura do ar e do solo são resultado do balanço de energia



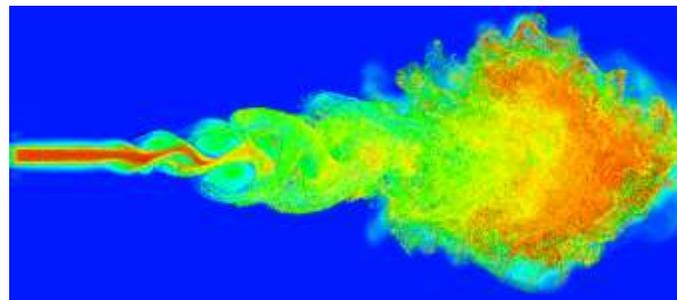
Mecanismos de aquecimento da atmosfera

Aquecimento da atmosfera próxima à superfície terrestre por transporte de energia:

→ **Condução molecular** – troca de calor sensível por contato entre as “moléculas”, com extensão superficial limitada (máximo de 3m);



→ **Difusão turbulenta**: processo “eficiente” de transporte de energia, com movimento ascendente de parcelas de ar aquecidas – dispersão de CO₂, vapor d’água e poeira.



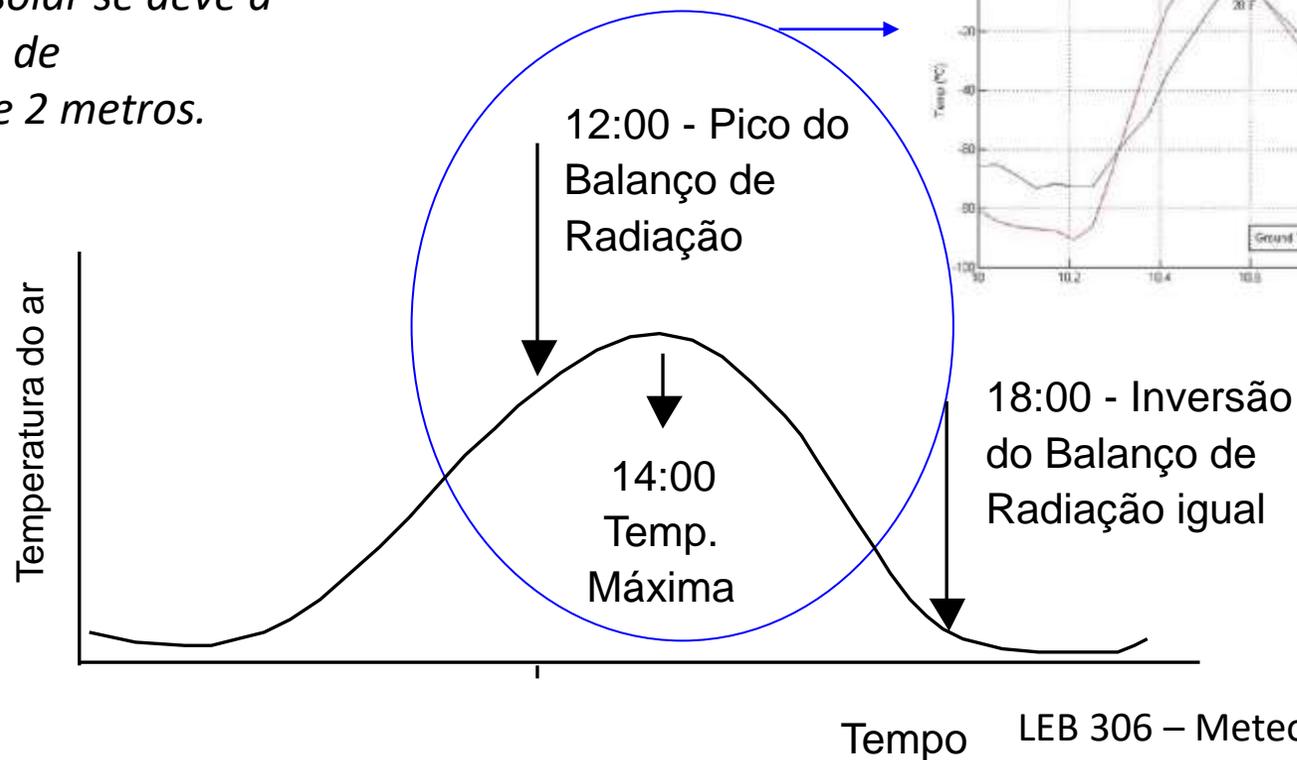
Variação Espacial da Temperatura

- Escala **Macroclimática**: irradiância solar, ventos, nebulosidade, convecção e umidade;
- Escala **Topoclimática**: exposição e configuração do terreno;
- Escala **Microclimática**: cobertura do terreno.

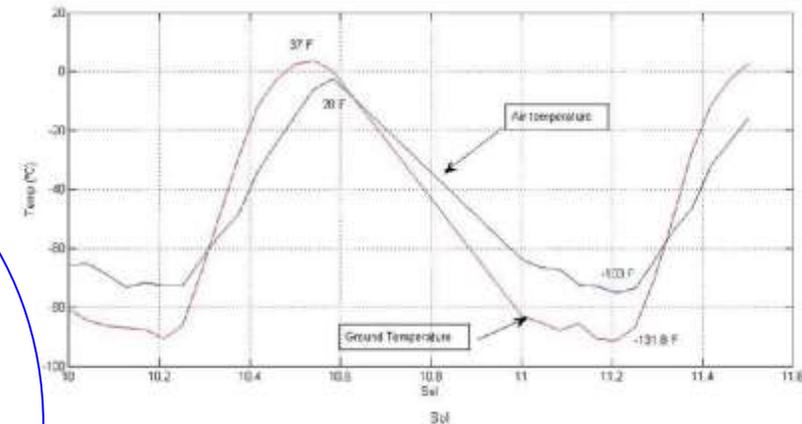
Variação Temporal da Temperatura do Ar

→ **Diária:** Função do Balanço de Radiação na Superfície

Obs: O “atraso” no registro da temperatura do ar em relação ao pico de radiação solar se deve a altura de medida, de aproximadamente 2 metros.

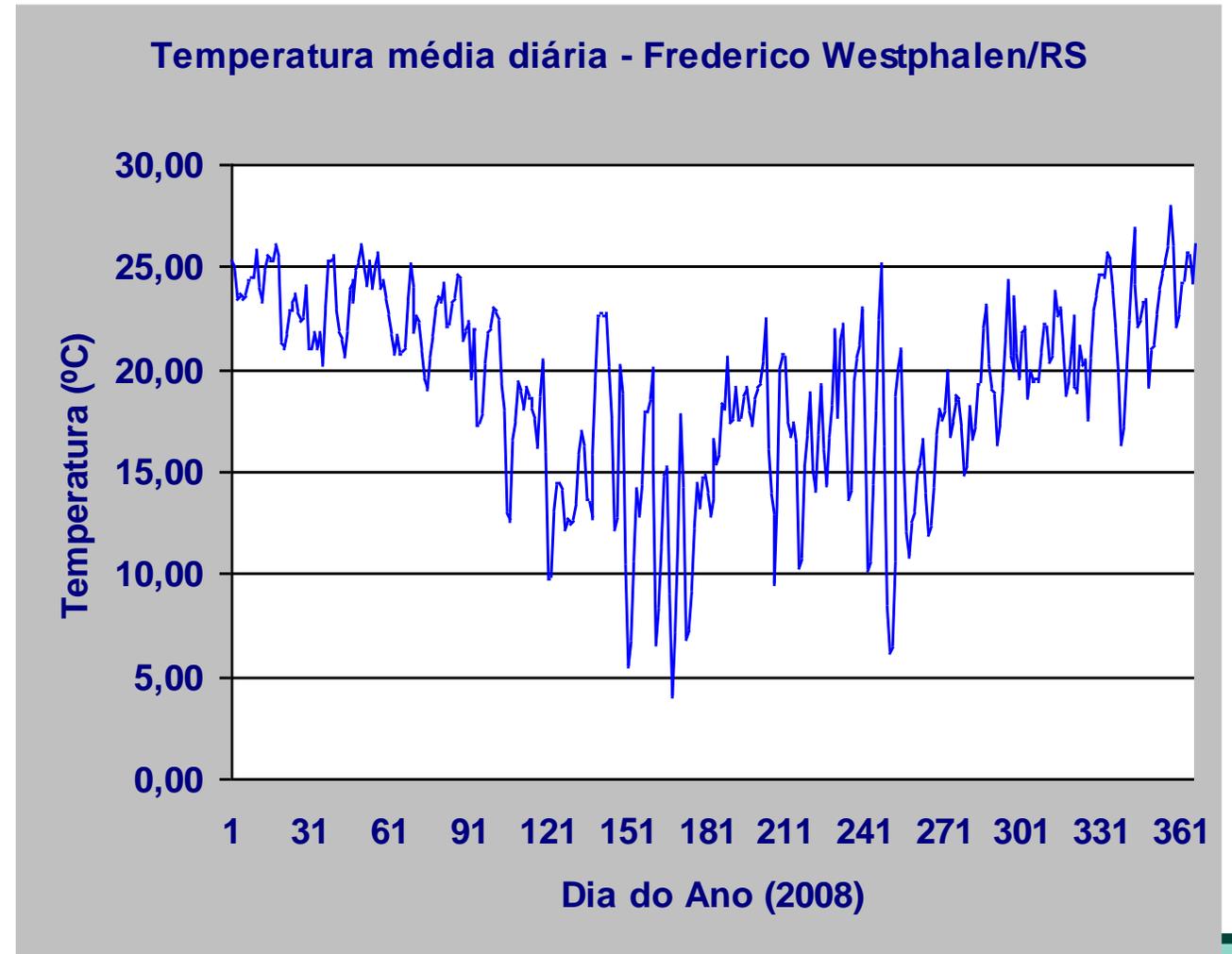


GROUND AND AIR TEMPERATURE SENSOR



Varição Temporal da Temperatura do Ar

→ **Anual:** também segue a disponibilidade de energia na superfície, com valores máximos no verão e mínimos no inverno.



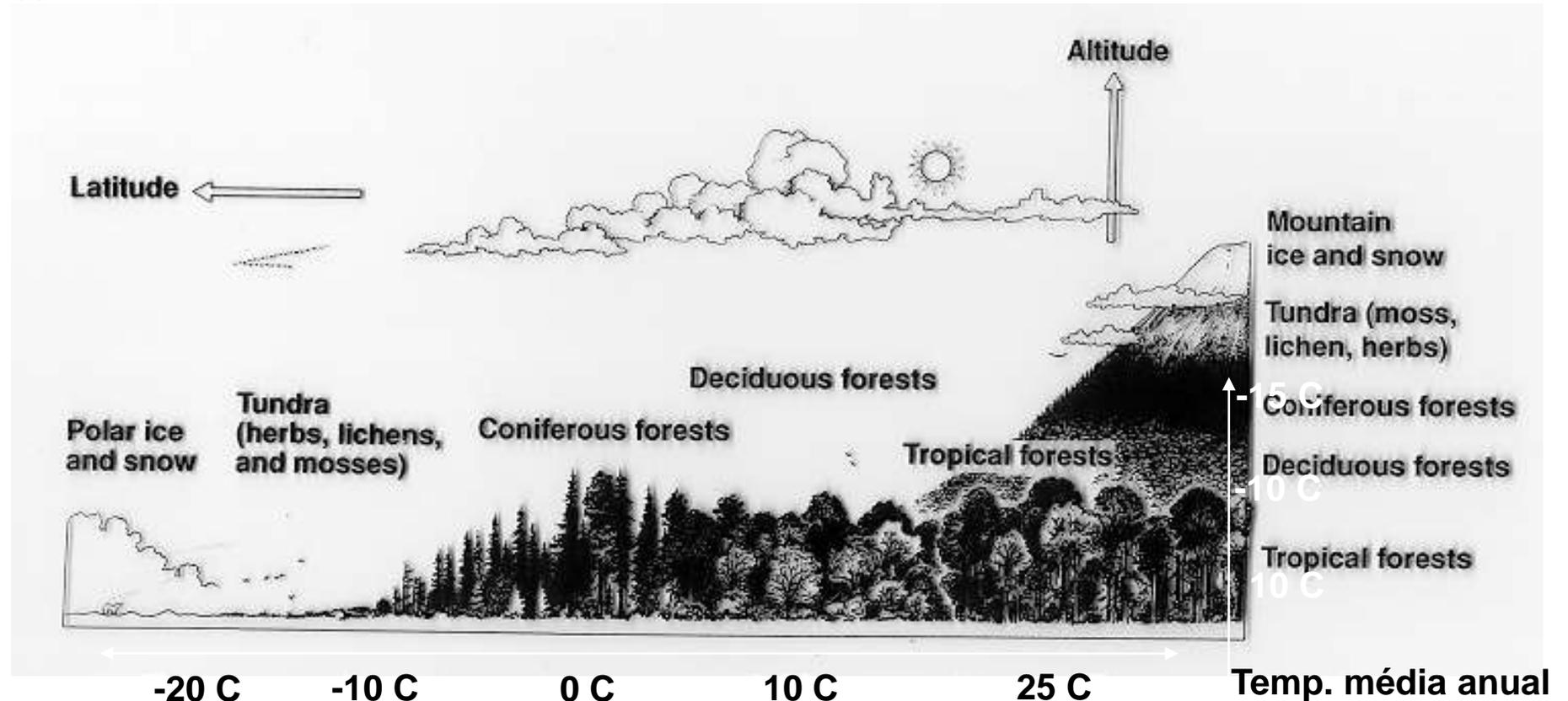
Influência da altitude



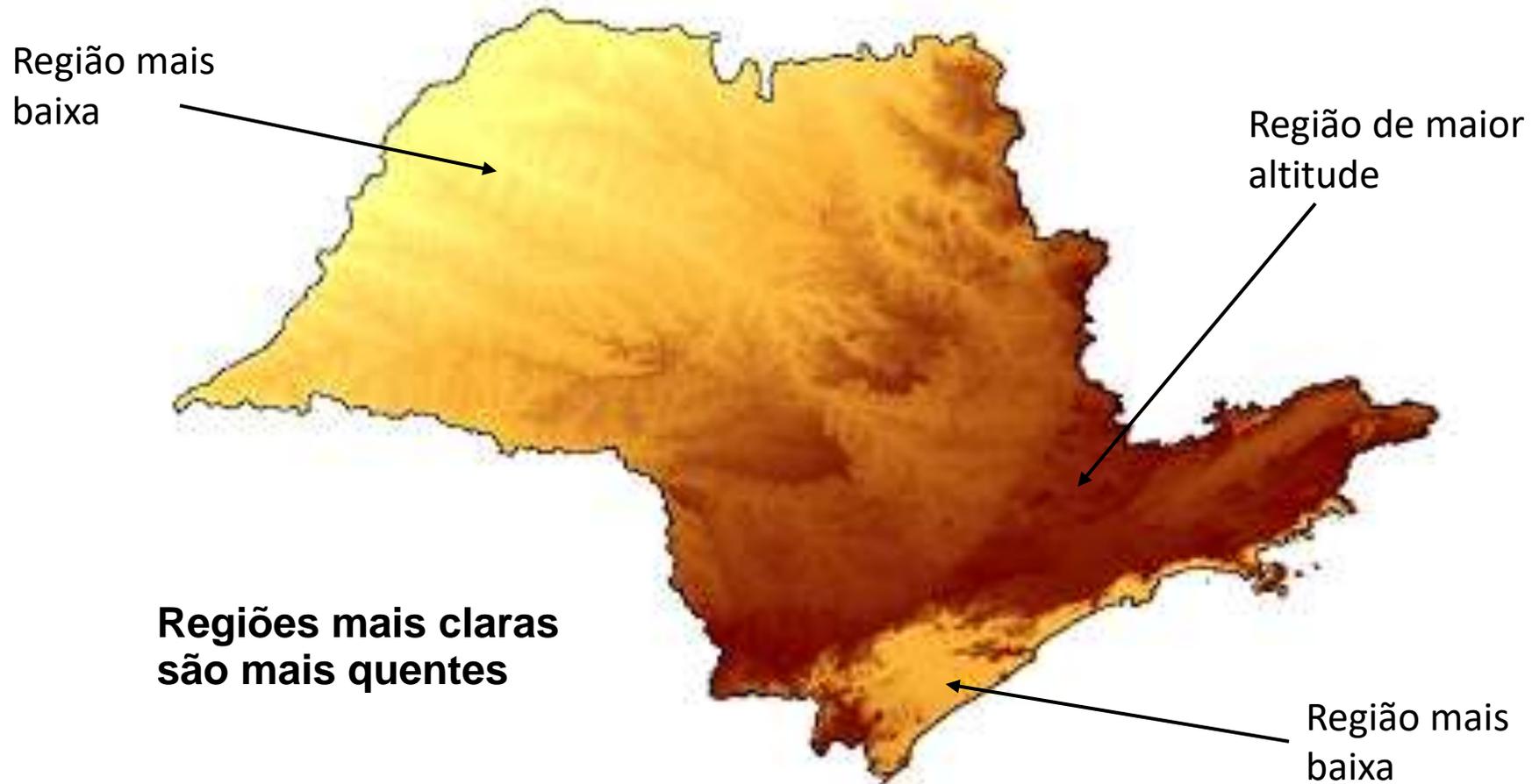
O aumento da altitude ocasiona diminuição da temperatura. Isso ocorre em consequência da rarefação do ar e da diminuição da pressão atmosférica

Média $\approx -0,6^\circ\text{C} / 100\text{m}$

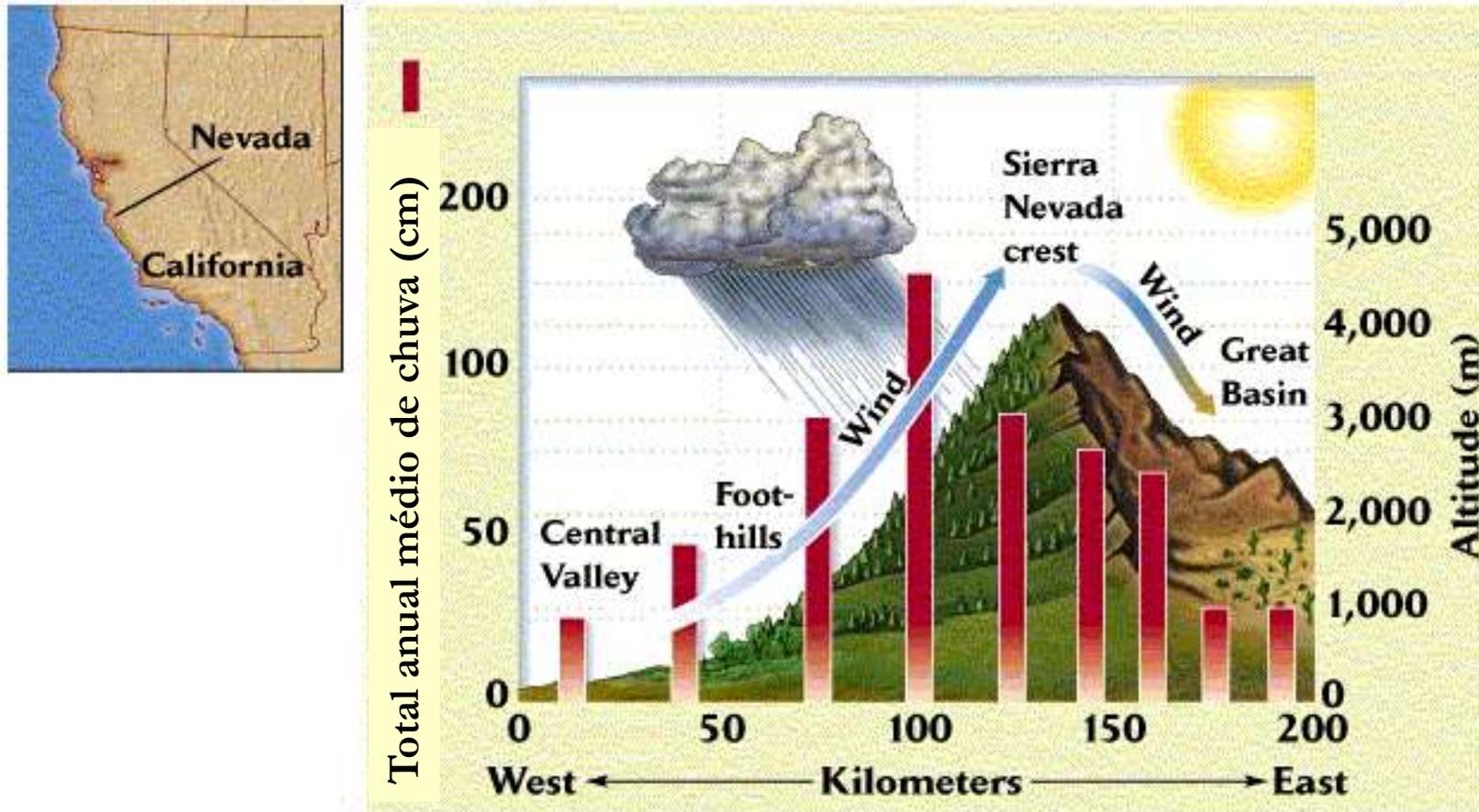
(esse valor depende da quantidade de vapor no ar)



Altitude e a temperatura média anual em SP



Além disso, a associação da altitude com o relevo pode condicionar o regime de chuvas de uma região. As chuvas orográficas são um exemplo disso:



Esse efeito ocorre também na região da Serra do Mar no Estado de São Paulo, onde a chuva total anual é de 2.150 mm/ano em Santos, de 3.800 mm/ano no alto da Serra e de 1.300 mm/ano na cidade de S. Paulo.

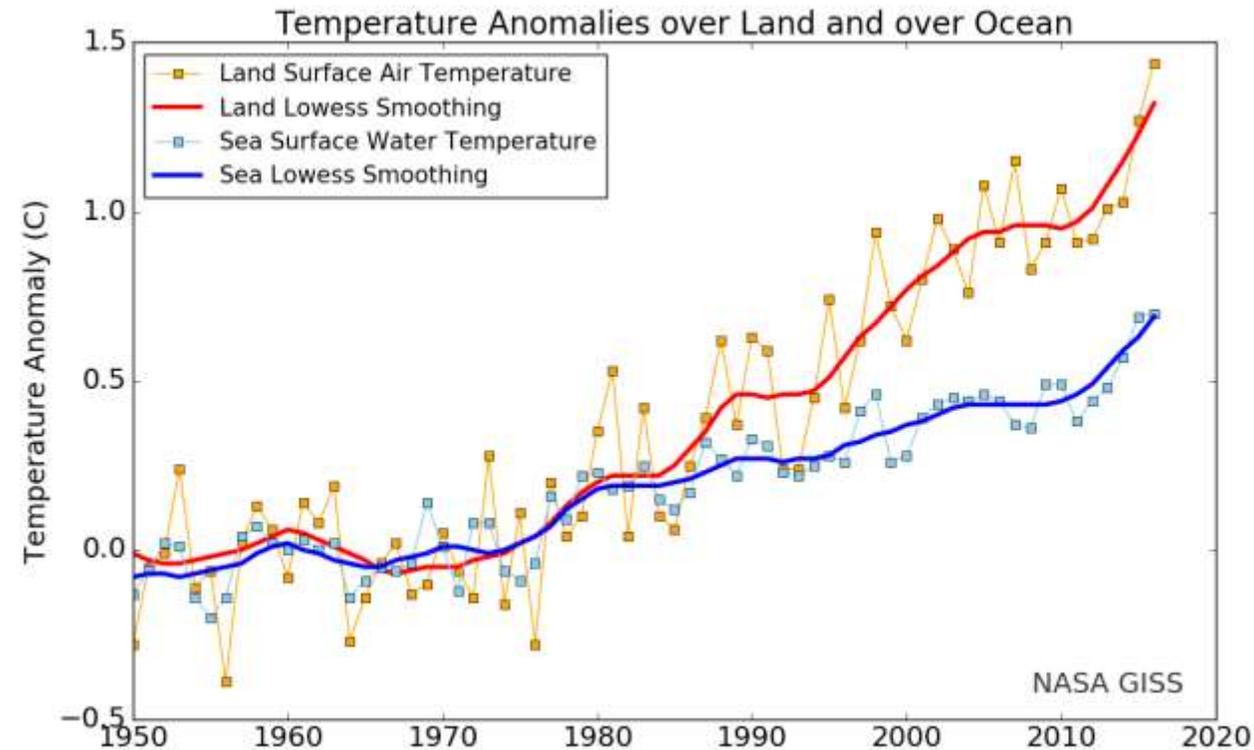
Oceanidade / Continentalidade

Diz respeito a proximidade em relação ao mar.

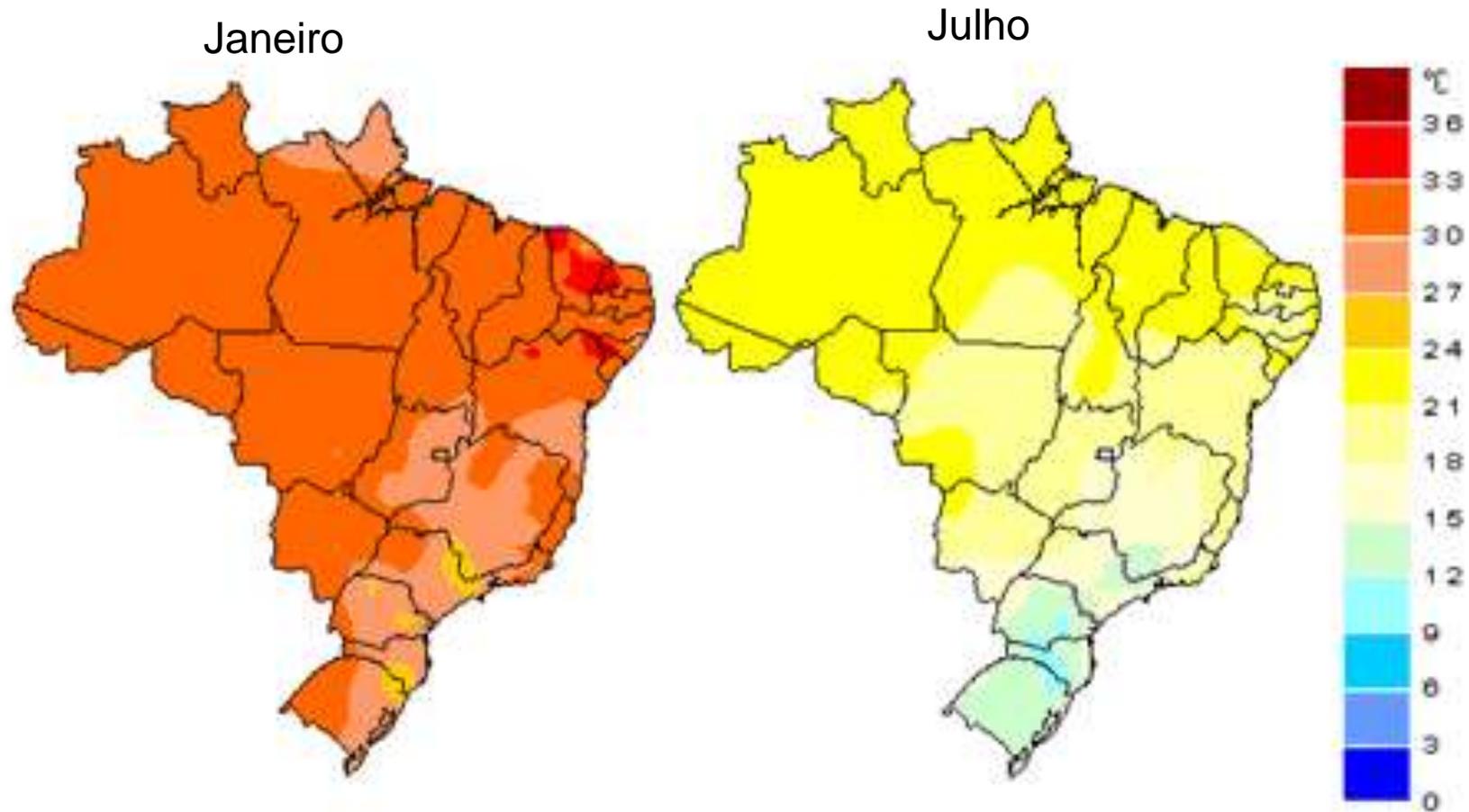
A água possui alto calor específico (energia necessária para elevar a temperatura de 1 quilo em 1°C).

Cuiabá → Amplitude térmica anual entre 8 e 17°C

Salvador → Amplitude térmica anual entre 3 e 6°C



Temperatura média anual no Brasil



Correntes Oceânicas

**As correntes que circulam
Pólos para Equador - FRIAS
Equador para Pólo - QUENTES.**

A atmosfera em contato com essas massas de água entram em equilíbrio térmico com a superfície. Por isso, as correntes tem grande efeito sobre o regime térmico e hídrico (chuvas) na faixa litorânea dos continentes.

Correntes Frias → Condicionam clima ameno e seco

Correntes Quentes → Condicionam clima quente e úmido

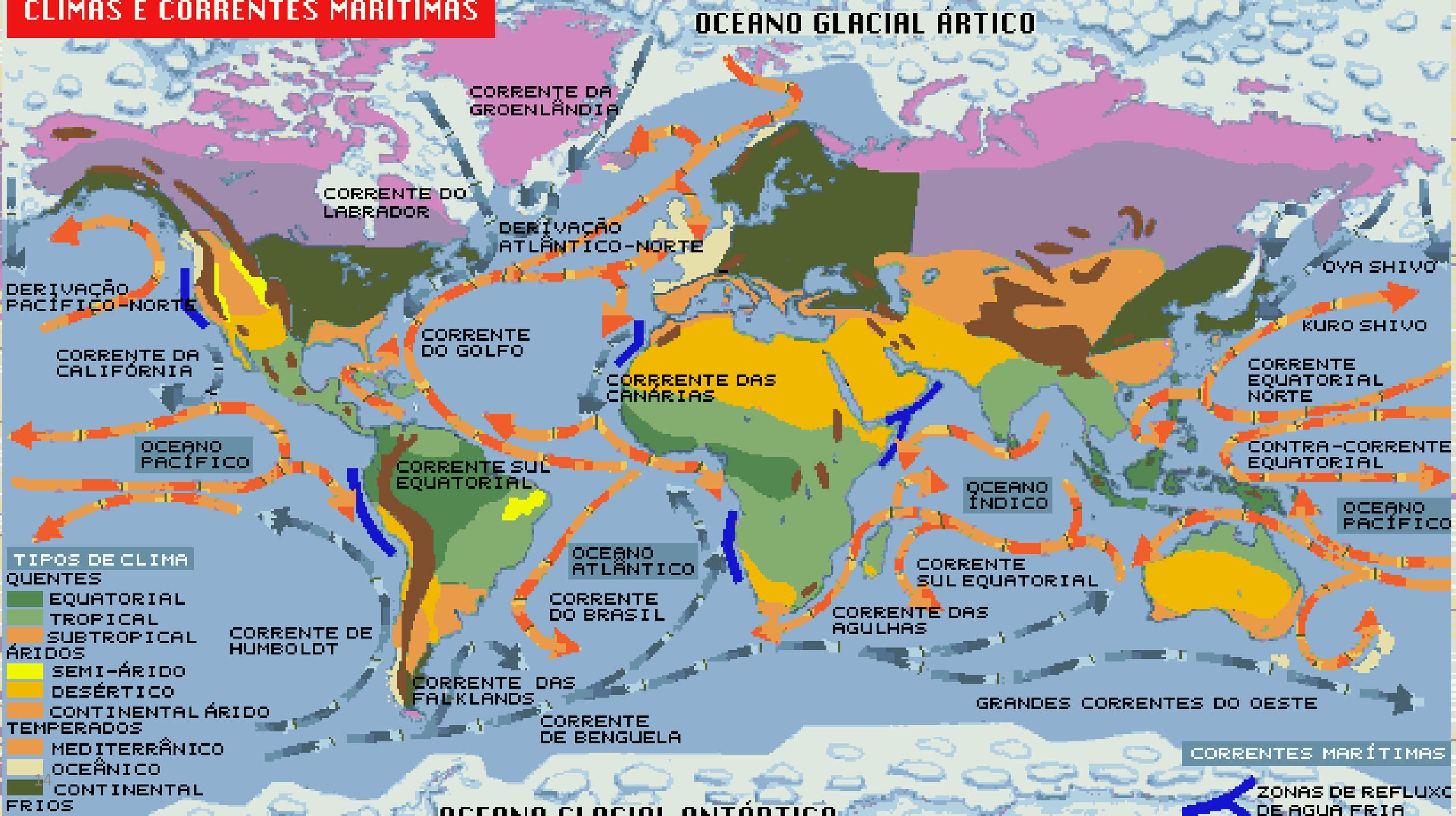
Exemplo:

Salvador, BA, Brasil → $T_{\text{anual}} = 24,9^{\circ}\text{C}$ e $P_{\text{anual}} = 2.000 \text{ mm}$

Lima, Perú → $T_{\text{anual}} = 19,4^{\circ}\text{C}$ e $P_{\text{anual}} = 40 \text{ mm}$

CLIMAS E CORRENTES MARITIMAS

OCEANO GLACIAL ÁRTICO



DERIVAÇÃO PACÍFICO-NORTE

CORRENTE DO LABRADOR

CORRENTE DA GROENLÂNDIA

DERIVAÇÃO ATLÂNTICO-NORTE

CORRENTE DO GOLFO

CORRENTE DAS CANÁRIAS

CORRENTE DA CALIFÓRNIA

OCEANO PACÍFICO

CORRENTE SUL EQUATORIAL

OCEANO ATLÂNTICO

CORRENTE DO BRASIL

OCEANO ÍNDICO

CORRENTE SUL EQUATORIAL

CORRENTE DAS AGULHAS

CORRENTE EQUATORIAL NORTE

CONTRA-CORRENTE EQUATORIAL

OCEANO PACÍFICO

OVA SHIVO

KURO SHIVO

TIPOS DE CLIMA QUENTES

EQUATORIAL

TROPICAL

SUBTROPICAL

ÁRIDOS

SEMI-ÁRIDO

DESÉRTICO

CONTINENTAL ÁRIDO

TEMPERADOS

MEDITERRÂNIC

OCEÂNICO

CONTINENTAL FRIOS

CORRENTE DE HUMBOLDT

CORRENTE DAS FALKLANDS

CORRENTE DE BENGUELA

GRANDES CORRENTES DO OESTE

CORRENTES MARÍTIMAS

ZONAS DE REFLUXO DE ÁGUA FRIA

OCEANO GLACIAL ANTÁRTICO

Exposição do terreno



Nas regiões S e SE do Brasil os terrenos com faces voltadas para o N são, em média, mais ensolarados, secos e quentes do que as voltadas para o S.

Fatores do microclima controlando a temperatura

Num mesmo local (as vezes com distância de apenas alguns metros), a temperatura da superfície varia de acordo com a sua cobertura. No nosso caso, imagine a temperatura do asfalto em frente ao prédio central e a temperatura do gramadão – é fácil supor que o gramado sempre tem temperatura menor ao meio dia, não é?



Diferentes coberturas modificam o regime térmico do local



A temperature do solo é importante para

- Germinação de sementes
- Crescimento de raízes e brotações
- Perfilhamento
- Atividade microbiana
- Absorção de água e nutrientes
- Evaporação da água
- Nitrificação no solo





A temperature do solo é controlada por

- Radiação solar que atinge o solo
- Umidade do solo, cor, textura
- Inclinação e exposição do terreno
- Cobertura vegetal

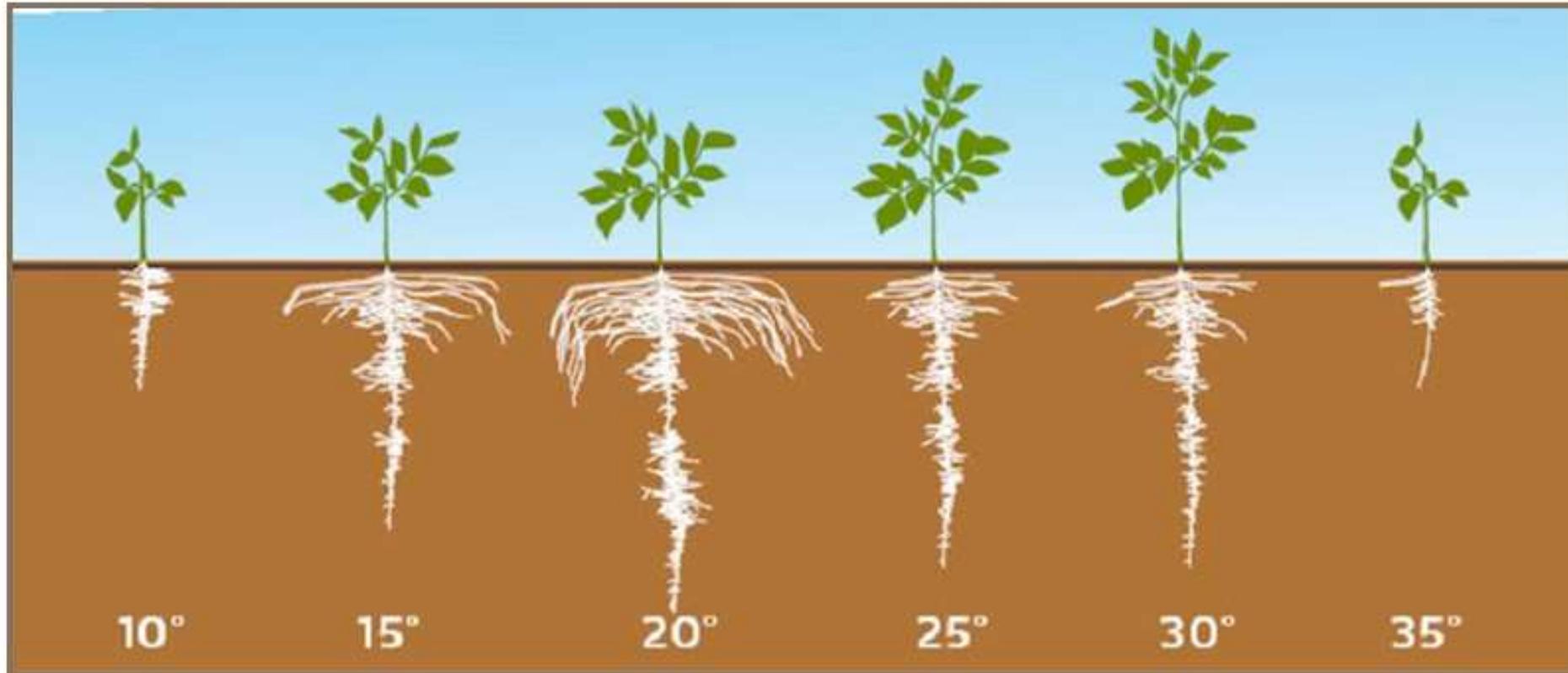
Temperatura do Solo

- O *tipo de solo* é outro fator intrínseco e está relacionado à textura, estrutura e composição do solo. Assim, desconsiderando-se os aspectos discutidos nos *slides* anteriores, os solos arenosos tendem a apresentar maior amplitude térmica diária nas camadas superficiais e menor profundidade de penetração das ondas de calor, em função de sua menor *condutividade térmica*.
- A variação temporal da temperatura do solo depende também de sua *capacidade volumétrica de calor* (C):

$$C = \rho c = 1,92 F_{\text{Min}} + 2,51 F_{\text{MO}} + 4,18 F_{\text{água}}$$

- em que F_{min} , F_{mo} e $F_{\text{água}}$ são respectivamente frações volumétricas das partículas minerais, da matéria orgânica, e da água retida no solo

Efeito da temperatura do solo no crescimento radicular



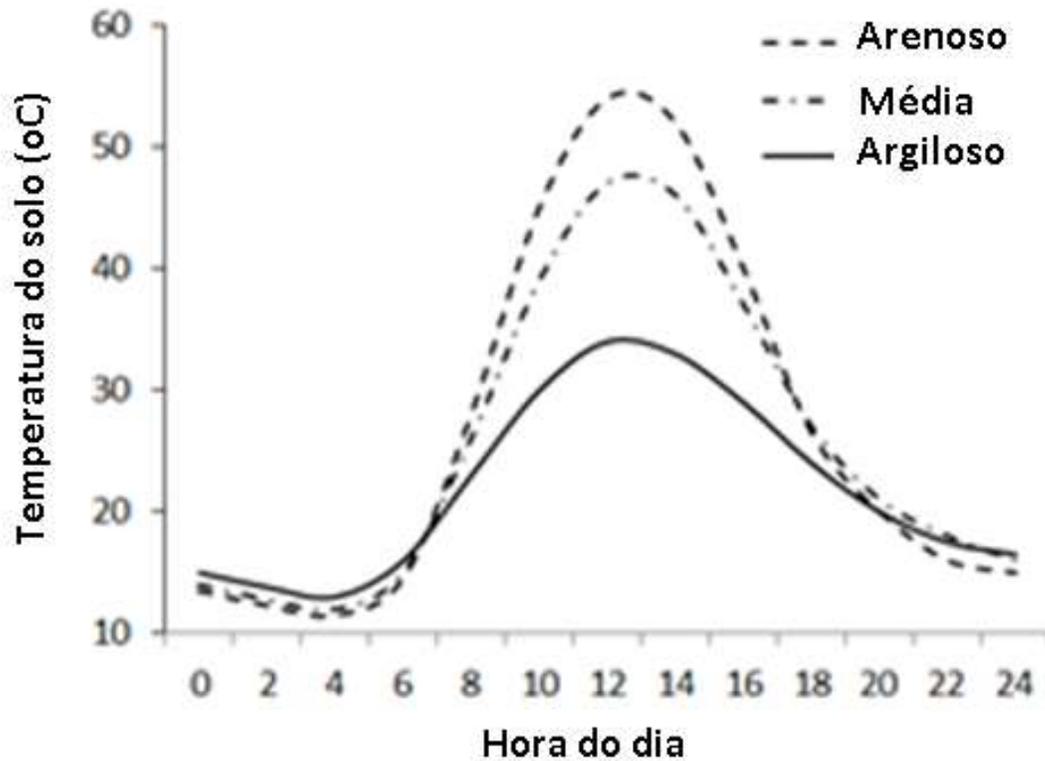
REF: Sattelmacher et al., 1990

A temperatura do solo
controla a atividade
biológica e a
germinação

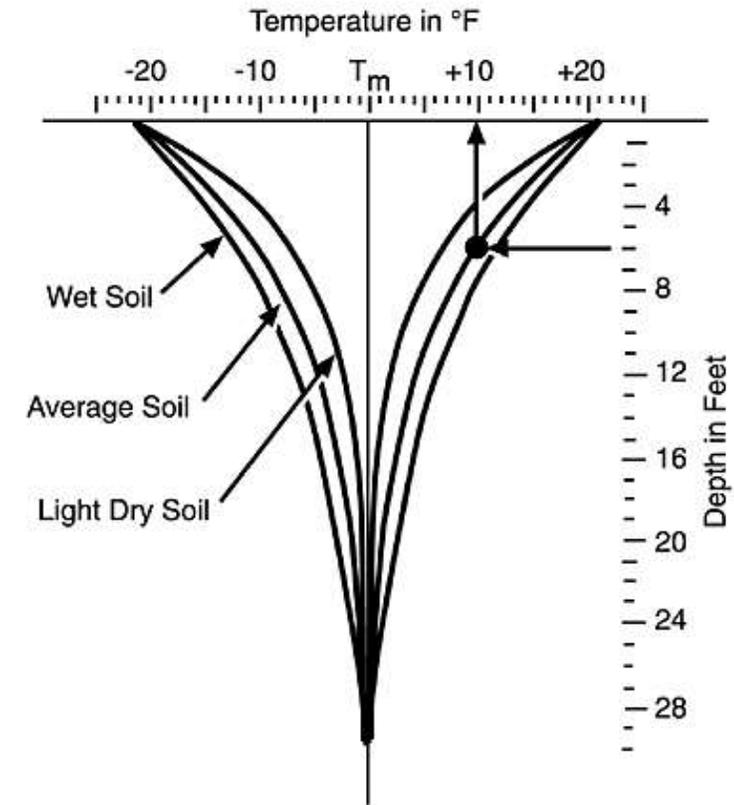


Propriedades térmicas dos solos

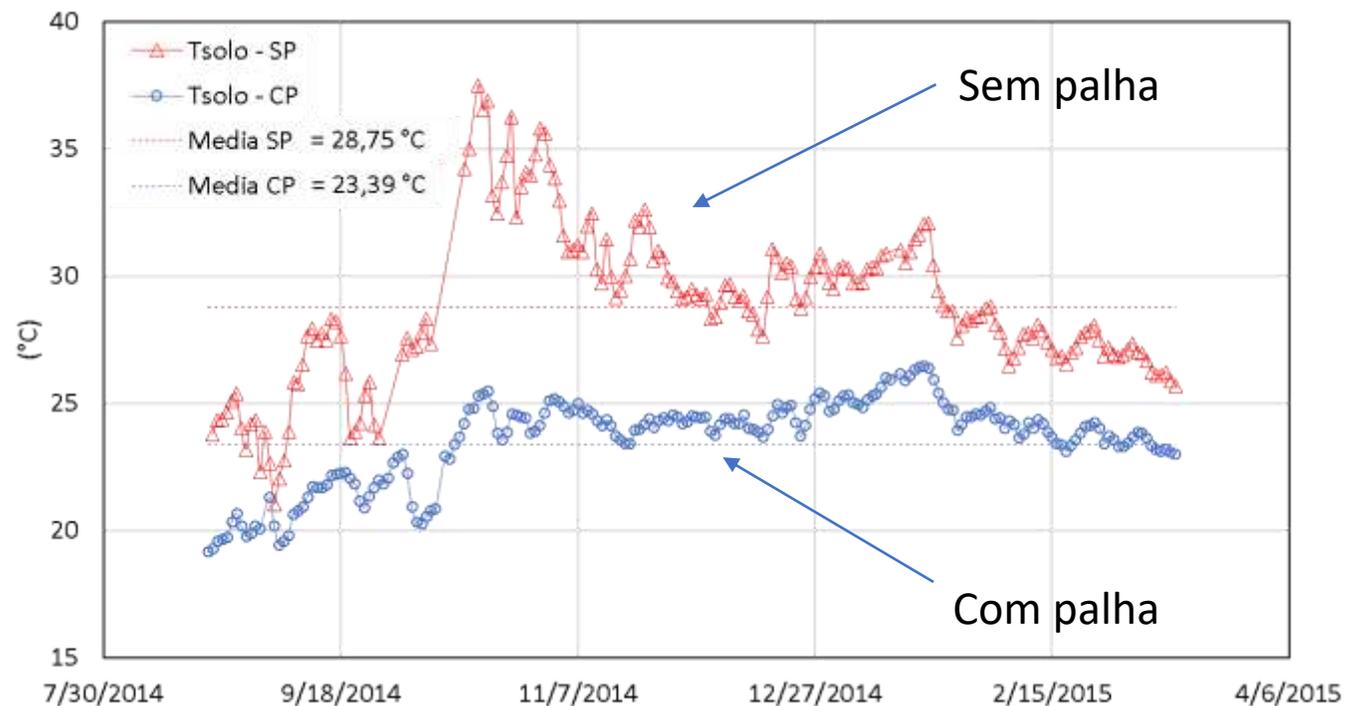
Varição da temperatura do solo em função da hora do dia e da textura do solo



Temperatura variando com a profundidade e umidade do solo



Efeito da palhada de cana sobre a temperatura do solo



Viana (2018)

Medida da Temperatura do Ar



- Medida da temperatura medida em condição padrão – comparação entre locais diferentes.
- Altura 1,5 a 2,0 m
- Abrigo ventilado (venezianas ou multipratos)

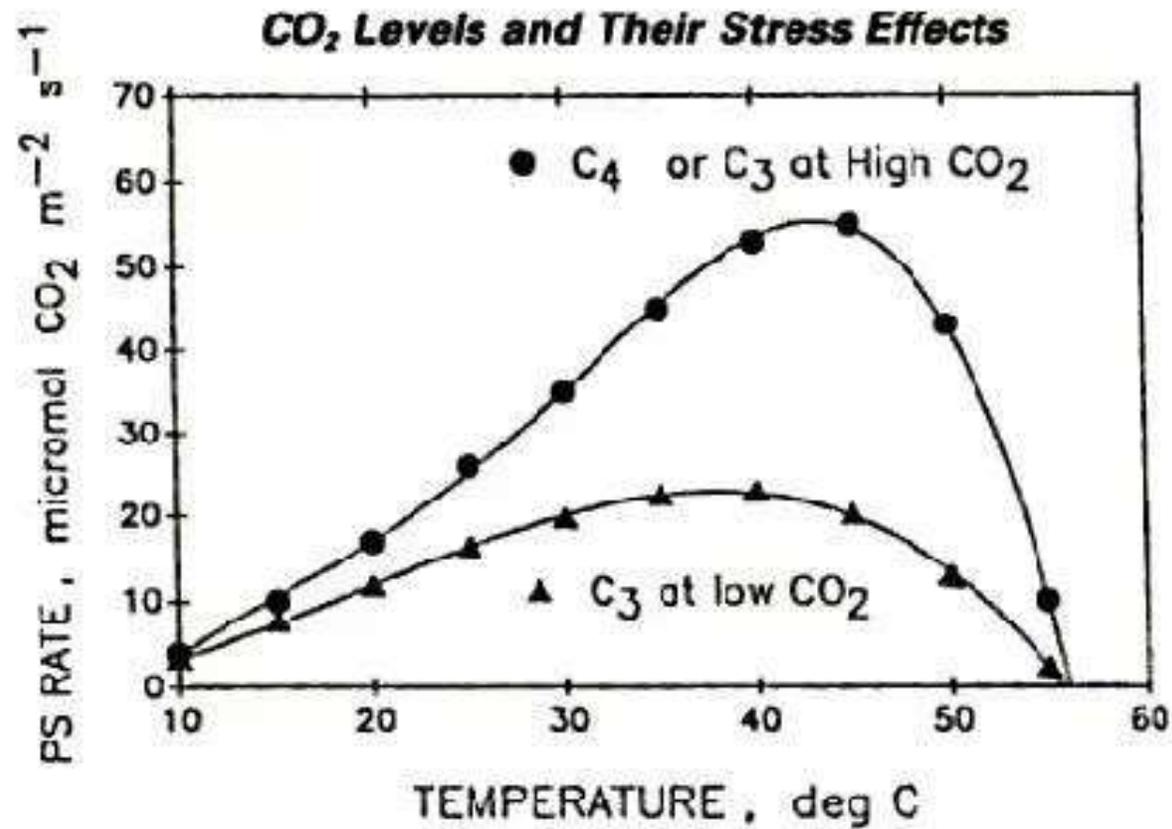
Cálculo da temperatura média do ar

- IAC: $T_{med} = (T_{7h} + T_{14h} + 2.T_{21h})/4$
- INMET: $T_{med} = (T_{9h} + T_{max} + T_{min} + 2.T_{21h})/4$
- Valores extremos: $T_{med} = (T_{max} + T_{min})/2$
- Estações Automáticas: $T_{med} = \Sigma T_{ar}/N$

A temperatura como fator agronômico

- A taxa das reações metabólicas é regulada basicamente pela temperatura do ar, afetando, desse modo, tanto o crescimento como o desenvolvimento das plantas.
- Um dos primeiros estudos relacionando temperatura e desenvolvimento vegetal foi realizado por Reaumur, na França, por volta de 1735. Ele observou que o ciclo de uma mesma cultura/variedade variava entre localidades e também entre diferentes anos.
- Ao fazer o somatório das temperaturas do ar durante os diferentes ciclos, ele observou que esses valores eram praticamente constantes, definindo isso como ***Constante Térmica da Cultura (CT)***.

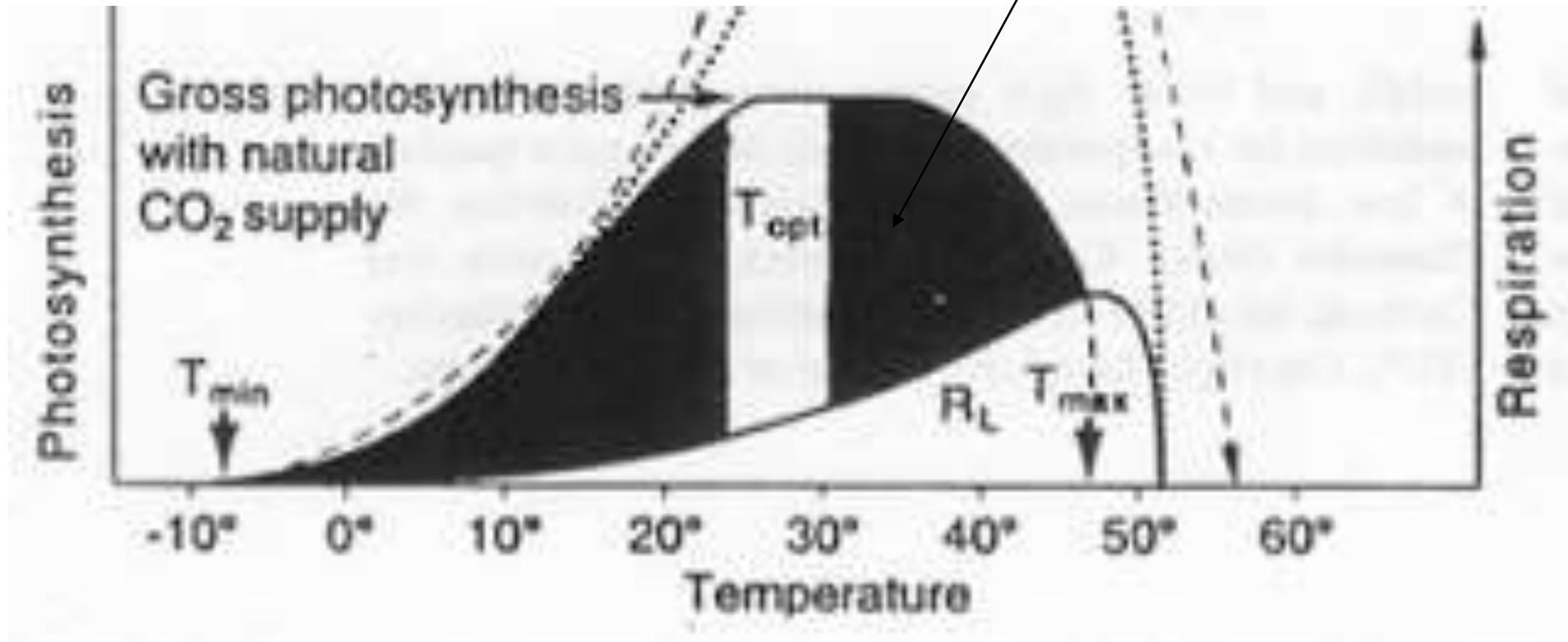
Produção Vegetal X Temperatura



Photosynthetic rate versus temperature for C₃ and C₄ leaves.

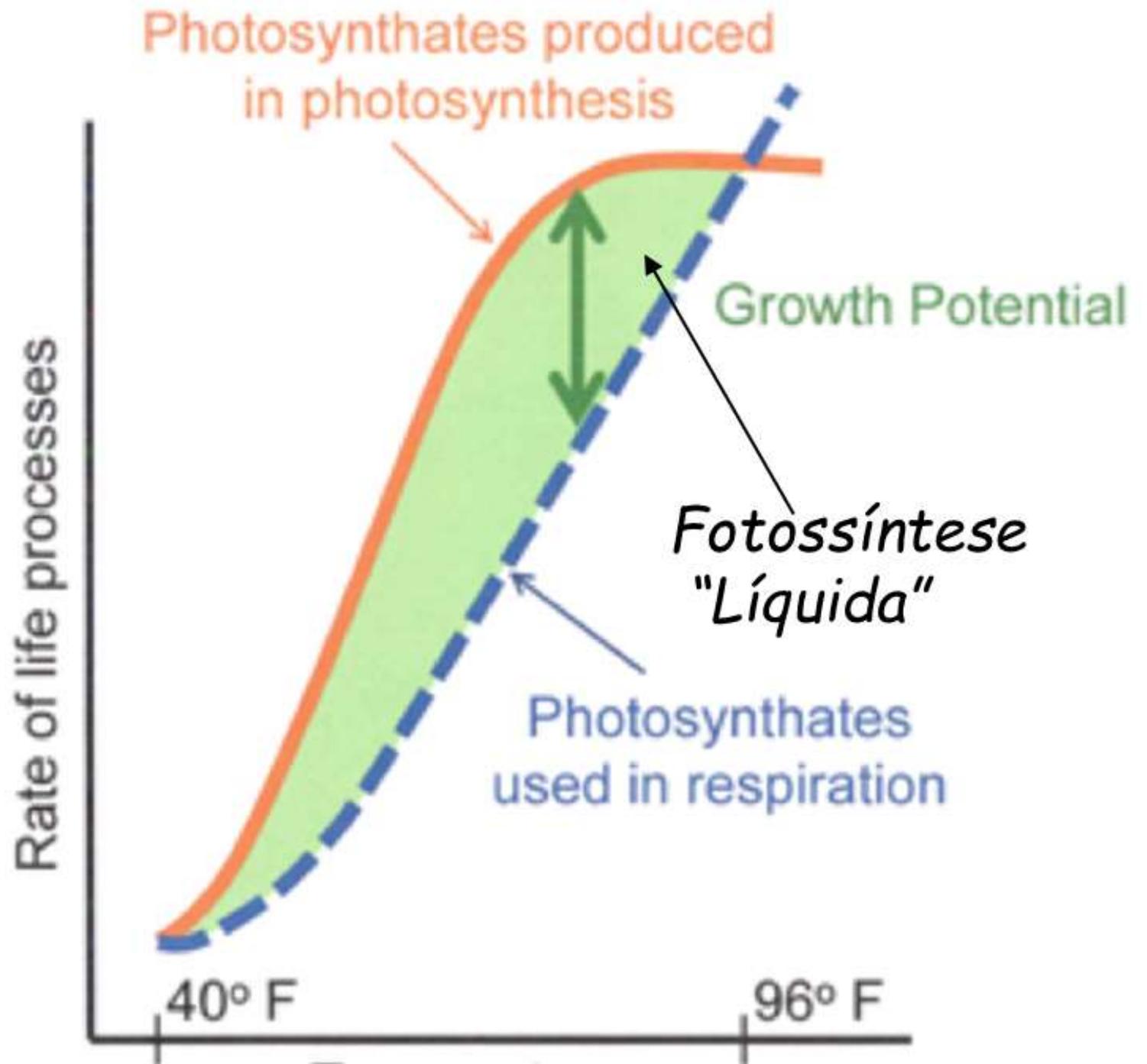
Produção Vegetal X Temperatura

Fotossíntese "Líquida"



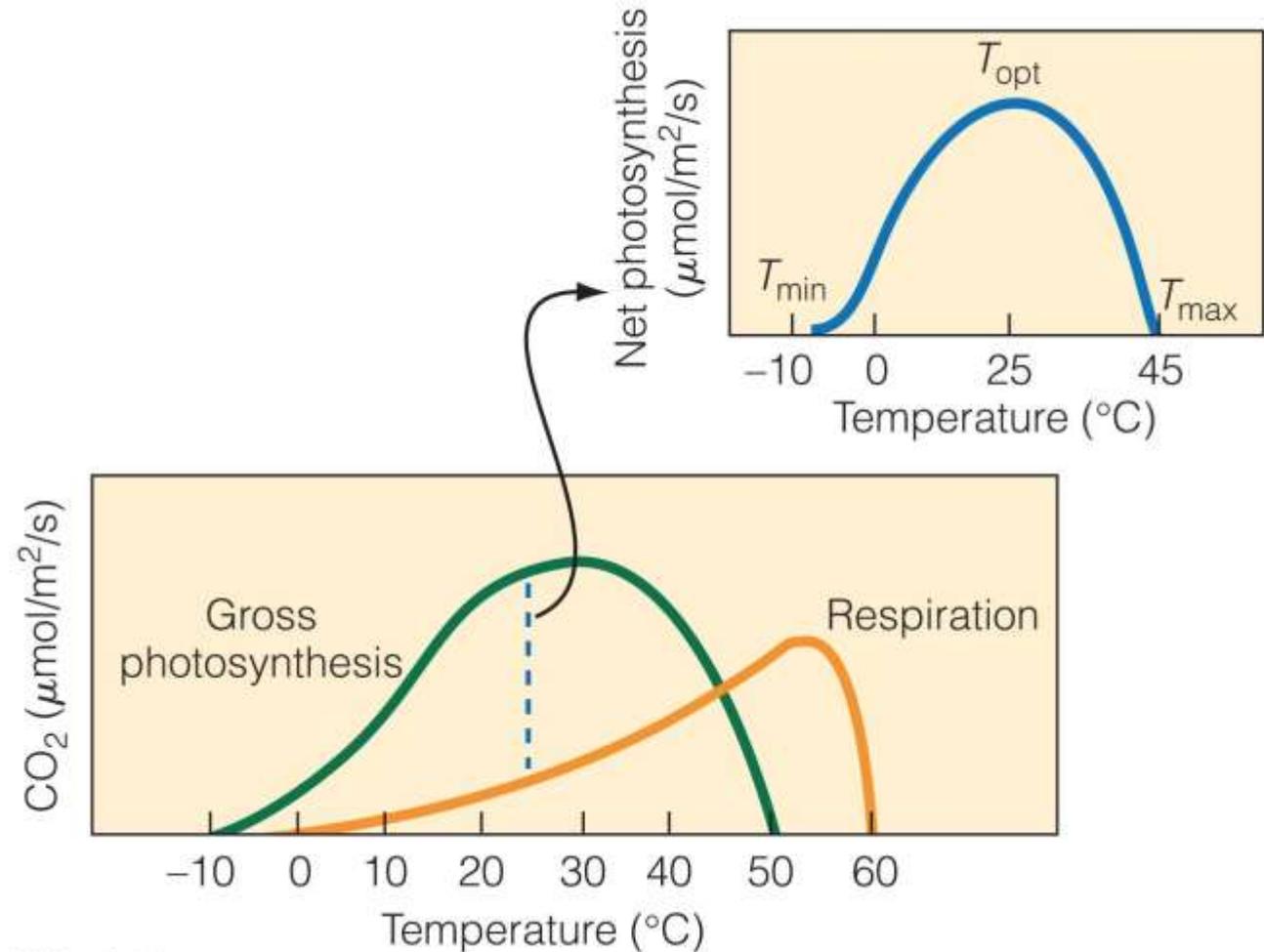
Produção Vegetal X Temperatura

A taxa de fotossíntese normalmente apresenta uma relação parabólica negativa com a temperatura, crescendo a partir de um valor de temperatura (temperatura base inferior), atingindo um pico de fotossíntese num ponto mais elevado de temperatura (temperatura ótima), e passando a decrescer após este valor até atingir um valor nulo novamente (temperatura base superior).



Produção Vegetal X Temperatura

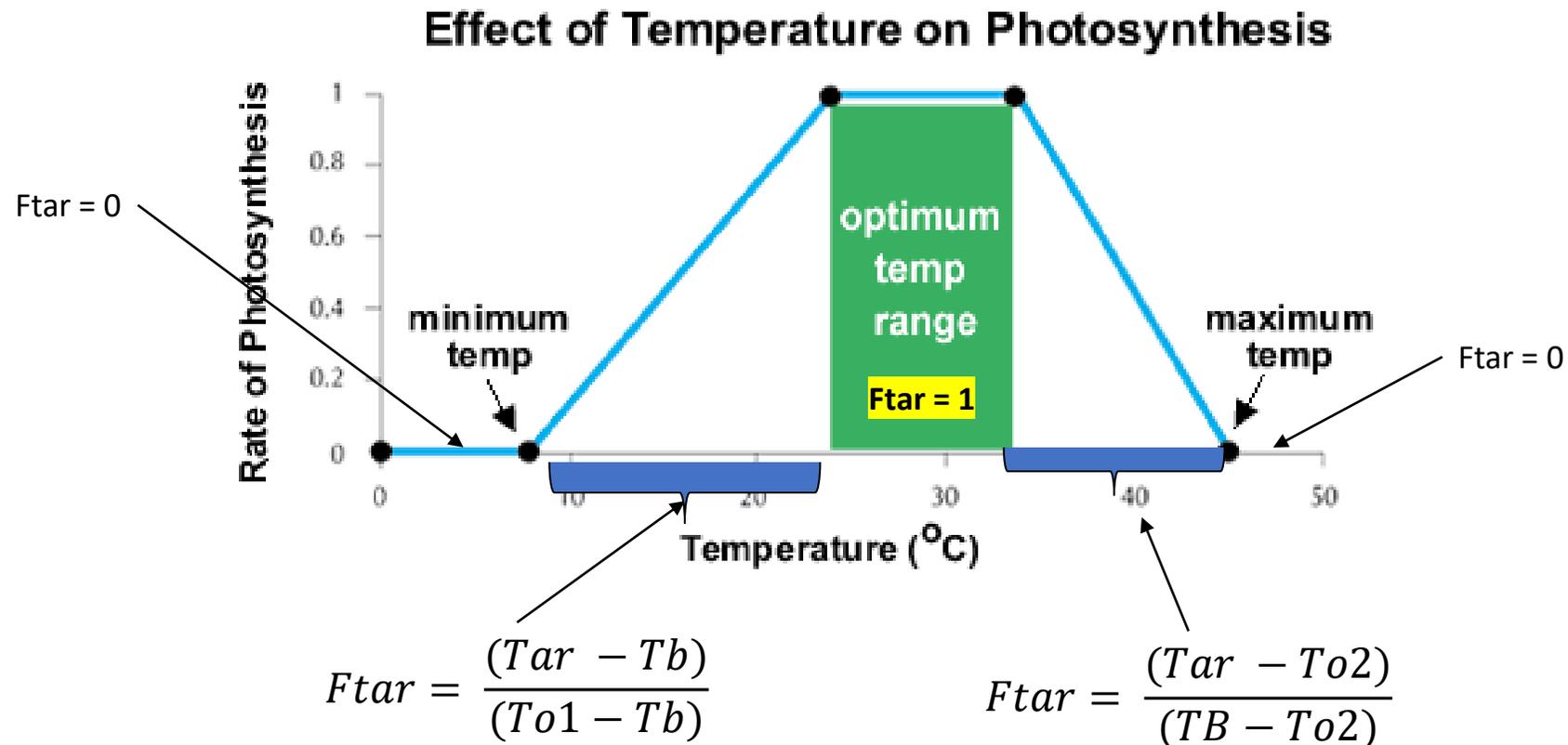
Observe que as temperaturas cardinais (T_b , T_{otima} e T_B) para a fotossíntese líquida não são necessariamente as mesmas observadas para a fotossíntese bruta.



© 2012 Pearson Education, Inc.

Produção Vegetal X Temperatura

Como representar matematicamente?



Simplificação usado para estimativa de produtividade. A temperatura do ar, portanto, influi em dois aspectos principais no nosso modelo de produtividade:

- No desenvolvimento, controlando a duração do ciclo;
- Na taxa de crescimento, controlando o acúmulo de matéria seca.

Relembrando do conceito de prod potencial e do método de estimativa apresentado na aula #2

Estimando a Produtividade Potencial (Pp ou Yp)

$$Yp' = aPAR * RUE * IC * FTar * \frac{1}{(1 - U)}$$

Sendo:

Yp' dado em [g/m².dia]

$$aPAR = PAR * (1 - r - e^{-k*IAF})$$

IC o índice de colheita (adimensional)

U é a umidade do produto (adimensional)

FTar – Fator de correção pelo efeito da temperatura do ar na fotossíntese (ver slide seguinte)

$$Yp = Yp' \frac{10000}{1000} \text{ [kg/m}^2\text{.d]}$$

Conceito de Graus-Dia

- Imagine um experimento em que uma cultivar foi cultivada sob diferentes temperaturas. A duração da fase entre a semeadura e o florescimento foi registrado, obtendo-se a Figura ao lado:

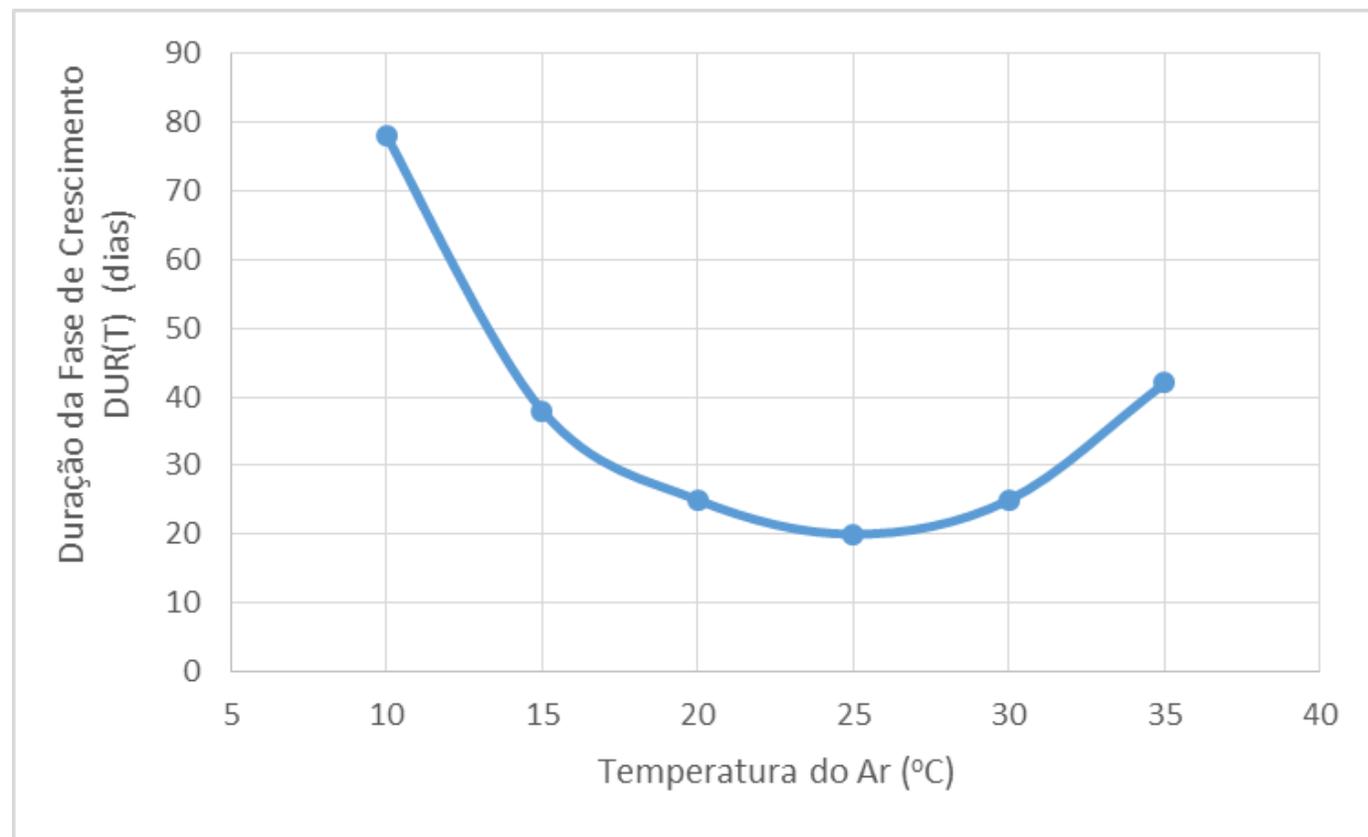
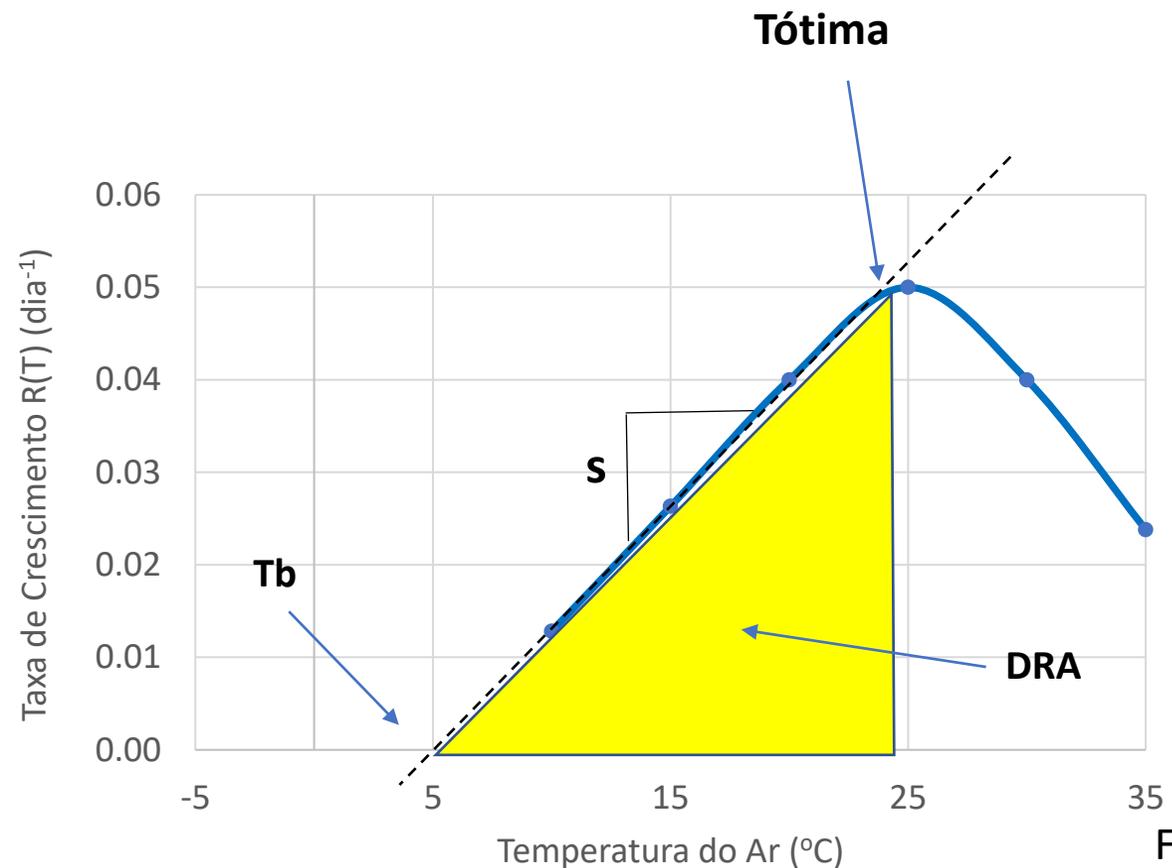


Fig 1

Conceito de Graus-Dia

- Invertendo-se a duração da fase ($DUR(T)$) obtém-se a taxa de desenvolvimento ($R(T)$) em função da temperatura. A Figura abaixo ilustra uma relação típica de $R(T)$ em função da temperatura, calculada a partir dos dados da Figura ao lado.



Conceito de Graus-Dia

Integrando $R(T)$ ao longo do tempo, pode-se obter o desenvolvimento acumulado de um organismo e, quando o desenvolvimento acumulado é igual a 1 o desenvolvimento está completo. Assumindo-se $R(T)$ é linear com a temperatura, pode-se escrever

$$R(T) = s(T - T_b)$$

em que s é o coeficiente angular da linha pontilhada na Figura 2 e T_b é a intersecção com o eixo x. Note que a unidade de s é $\text{dia}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$. Para temperatura abaixo de T_b o desenvolvimento acumulado é zero. Lembrando que quando o desenvolvimento relativo acumulado (DRA) é igual a 1, então $\text{DRA} = \text{Constante térmica (CT)}$ e o evento biológico estará completo. É possível computar DRA em função dessa relação linear da seguinte forma:

$$\text{DRA} = \int_{t(\text{semeadura})}^{t(\text{colheita})} R(T) dT = \int_{t(\text{semeadura})}^{t(\text{colheita})} s(T - T_b) dt$$

Conceito de graus-dia

Essa equação pode ser simplificada admitindo que s é constante e DRA é igual a 1 (ou seja 100% do ciclo foi concluído):

$$\frac{1}{s} = \int_{t(\text{semeadura})}^{t(\text{colheita})} (T - T_b) dt$$

Lembrando que dT pode ser aproximado para Δt numa notação finitesimal, e que quando $\Delta t=1$ pode-se acumular $(T-T_b)$ até um somatório térmico ($1/s$). Este somatório ($=1/s$) representa o número de graus-dia necessário para a conclusão de uma dada fase ou mesmo do ciclo de crescimento, sendo também conhecida como **Constante Térmica (CT)**. Para cômputo diário (GD) do número de graus-dias acumulados, pode-se então usar a seguinte expressão:

$$GD = (T - T_b) nd$$

em que T (maiúsculo) é a temperatura média do período (veja no slide seguinte algumas exceções); nd representa o número de dias do período; t (minúsculo) é o tempo e T é a temperatura do ar.

Sistema de Unidades Térmicas ou Graus-dia

Para as condições brasileiras, especialmente no Centro-Sul do Brasil, as temperaturas médias não atingem níveis tão elevados e, assim, não ultrapassam T_b . Portanto, no cálculo de GD leva-se em consideração apenas a temperatura média (T_{med}), a basal inferior da cultura (T_b), e o número de dias do período (n):

- Caso $T_b < T_{min}$ $\Rightarrow GD = (T_{med} - T_b).nd(^{\circ}C \cdot dia)$
- Caso $T_b \geq T_{min}$ $\Rightarrow GD = ((T_{max} - T_b)^2 / 2 \cdot (T_{max} - T_{min})).nd (^{\circ}C \cdot dia)$
- Caso $T_b > T_{max}$ $\Rightarrow GD = 0$

Na Tabela abaixo, temos alguns valores de CT e Tb para algumas culturas.

Lista de
temperaturas
basais e
constantes
térmicas para
diversas culturas

Cultura	Variedade/Cultivar	Período/Sub-período	Tb (°C)	CT (°Cd)
Arroz	IAC4440	Semeadura-Maturação	11,8	1985
		Semeadura-Emergência	18,8	70
		Emergência-Floração	12,8	1246
		Floração-Maturação	12,5	402
Abacate	Raça Antilhana	Floração-Maturação	10,0	2800
	Raça Guatemalense	Floração-Maturação	10,0	3500
	Híbridos	Floração-Maturação	10,0	4200
Feijão	Carioca 80	Emergência-Floração	3,0	813
Girassol	Contisol 621	Semeadura-Maturação	4,0	1715
	IAC-Anhady	Semeadura-Maturação	5,0	1740
Milho Irrigado	AG510	Semeadura-Flor.Masculino	10,0	800
	BR201	Semeadura-Flor.Masculino	10,0	834
	BR106	Semeadura-Flor.Masculino	10,0	851
	DINA170	Semeadura-Flor.Masculino	10,0	884
Soja	UFV-1	Semeadura-Maturação	14,0	1340
	Paraná	Semeadura-Maturação	14,0	1030
	Viçosa	Semeadura-Maturação	14,0	1230
Cafeeiro	Mundo Novo	Florescimento-Maturação	11,0	2642
Videira	Niagara Rosada	Poda-Maturação	10,0	1550
	Itáli/Rubi	Poda-Maturação	10,0	1990

- **Planejamento de Colheita:** sabendo-se a data de semeadura, poda ou florescimento da cultura, determina-se a data provável de colheita.
- **Planejamento de Semeadura/Poda:** sabendo-se a data que se deseja realizar a colheita, determina-se a data recomendável de semeadura ou poda.
- **Escolha da melhor variedade para a região:** sabendo-se que a duração ideal da fase semeadura-florescimento masculino do milho é de cerca de 60 dias, pode-se determinar qual o melhor híbrido a ser semeado na região para dada época de semeadura.

Aplicações práticas do Sistema Graus-dia

Exercício Graus Dia

1. Realizando a semeadura em 1 de Outubro, qual a data provável de maturação fisiológica do milho (BRS2160), sabendo que a temperatura base é $11,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $CT=1800\text{ }^{\circ}\text{C dia}$?

NDA	Mês	ND	Tmed	GD	GD Acumu			
15	jan	15	24.4	194	1193.7			
31		16	23.1	186	1379.3			
46	fev	15	22.8	170	1548.8			
59		13	23.0	150	1698.3			Resposta
74	mar	15	21.7	153	1851.3	10.2	10	69
90		16	22.8	181				
105	abr	15	19.8	125				
120		15	18.3	102		Tbase	11.5	
135	mai	15	17.2	86		CT	1800	
151		16	16.9	86				
166	jun	15	15.3	57				
181		15	14.1	39				
196	jul	15	14.0	38				
212		16	14.3	45				
227	ago	15	15.6	62				
243		16	16.2	75				
258	set	15	17.5	90				
273		15	18.2	101				
288	out	15	19.1	114	114.0			
304		16	20.3	141	254.8			
319	nov	15	22.5	165	419.8			
334		15	23.1	174	593.8			
349	dez	15	24.3	192	785.8			
365		16	24.9	214	1000.2			

Exercício Graus Dia

2. Realizando a semeadura em 1 de Outubro, qual a data provável de maturação fisiológica do milho (BRS2160), sabendo que a temperatura base é $13,0^{\circ}\text{C}$ e $\text{CT}=1490^{\circ}\text{C}$ dia?

NDA	Mês	ND	Tmed	GD	GD Acumu			
15	jan	15	24.4	171	1033.2			
31		16	23.1	162	1194.8			
46	fev	15	22.8	147	1341.8			
59		13	23.0	130	1471.8			Resposta
74	mar	15	21.7	131	1602.3	8.7	2	61
90		16	22.8	157				
105	abr	15	19.8	102				
120		15	18.3	80		Tbase	13	
135	mai	15	17.2	63		CT	1490	
151		16	16.9	62				
166	jun	15	15.3	35				
181		15	14.1	17				
196	jul	15	14.0	15				
212		16	14.3	21				
227	ago	15	15.6	39				
243		16	16.2	51				
258	set	15	17.5	68				
273		15	18.2	78				
288	out	15	19.1	92	91.5			
304		16	20.3	117	208.3			
319	nov	15	22.5	143	350.8			
334		15	23.1	152	502.3			
349	dez	15	24.3	170	671.8			
365		16	24.9	190	862.2			

Efeitos positivos do frio sobre as plantas

O frio é considerado o principal fator exógeno para a indução à saída da dormência em gemas de espécies de frutíferas nas regiões temperadas. A região sul do Brasil apesar de ser de clima subtropical com algumas localidades temperadas, apresenta grandes variações entre anos, com invernos amenos, o que tem dificultado a adaptação de espécies e cultivares oriundos de regiões com invernos bem definidos, pois as mesmas geralmente apresentam respostas fisiológicas indesejáveis.

Um dos principais hormônios é o ácido abscísico (ABA), responsável pela dormência das gemas do caule e queda das folhas. Também é o principal responsável pelo bloqueio do crescimento das plantas no inverno, fenômeno esse conhecido com dormência. Influenciado pelas baixas temperaturas, com um determinado acumulado de horas de frio ocorre uma diminuição do ABA nas gemas. Essa redução condiciona o retorno do crescimento e floração das plantas, na primavera.

Vernalização

A vernalização é a indução ou aceleração da floração por temperatura baixa. Juntamente com o fotoperíodo são sistemas de controle que permitem a sincronização da reprodução das plantas. Representa uma vantagem adaptativa da espécie por favorecer a polinização cruzada e o florescimento em épocas mais favoráveis no que se refere a disponibilidade de água e temperatura.

a) inclui a indução real da floração em espécies que requerem baixas temperaturas, como por exemplo repolho, salsão e beterraba e;

b) a aceleração da floração em espécies que tem a sua floração apenas quantitativamente promovida pelas baixas temperaturas como por exemplo os grãos de inverno, alface e rabanete.

Leitura

Obrigatória:

Pereira, Angelocci, Sentelhas. Meteorologia Agrícola. Apostila. ESALQ. 2007.
Cap 6.

Disponível em

http://www.ler.esalq.usp.br/aulas/lce306/MeteorAgricola_Apostila2007.pdf