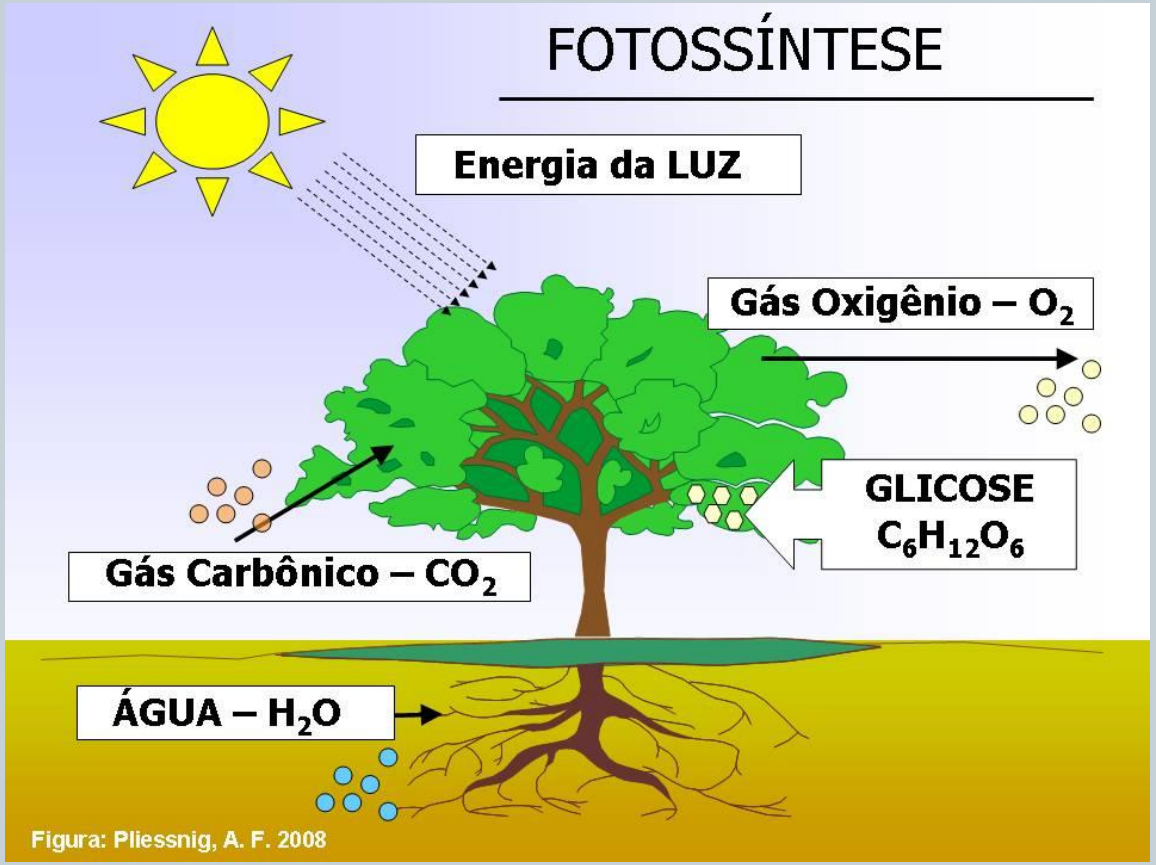
ZAZ1022 PRINCÍPIOS DE BIOMETEOROLOGIA

BIOCLIMATOLOGIA VEGETAL

Fatores do meio ambiente determinantes da produção vegetal

Profa. Tamara Maria Gomes

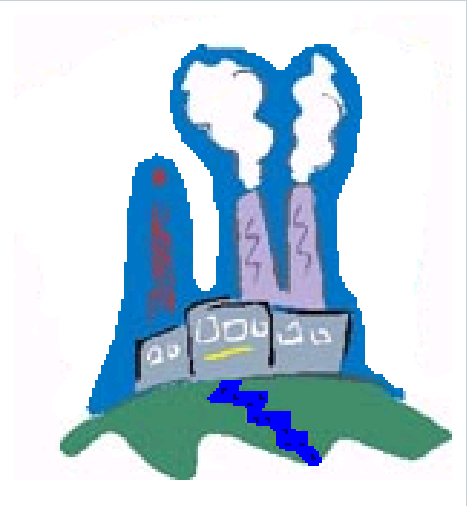
Produção Vegetal



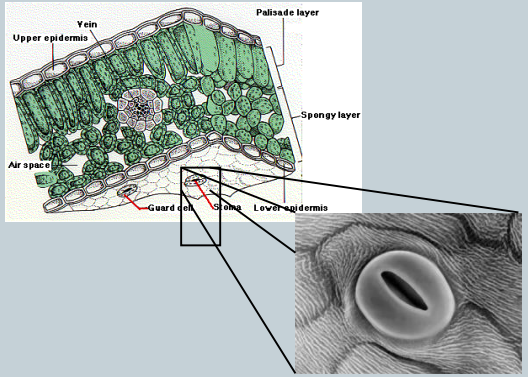
Os organismos vegetais que realizam a fotossíntese estão na base da cadeia alimentar do planeta.

Produção Vegetal

produção da biomassa = estrutura industrial.



Unidade de Produção
Matéria Prima Bruta (CO_2 e H_2O)



↓

Assimilados Carbônicos

↓

ENERGIA (funcionamento da fábrica)

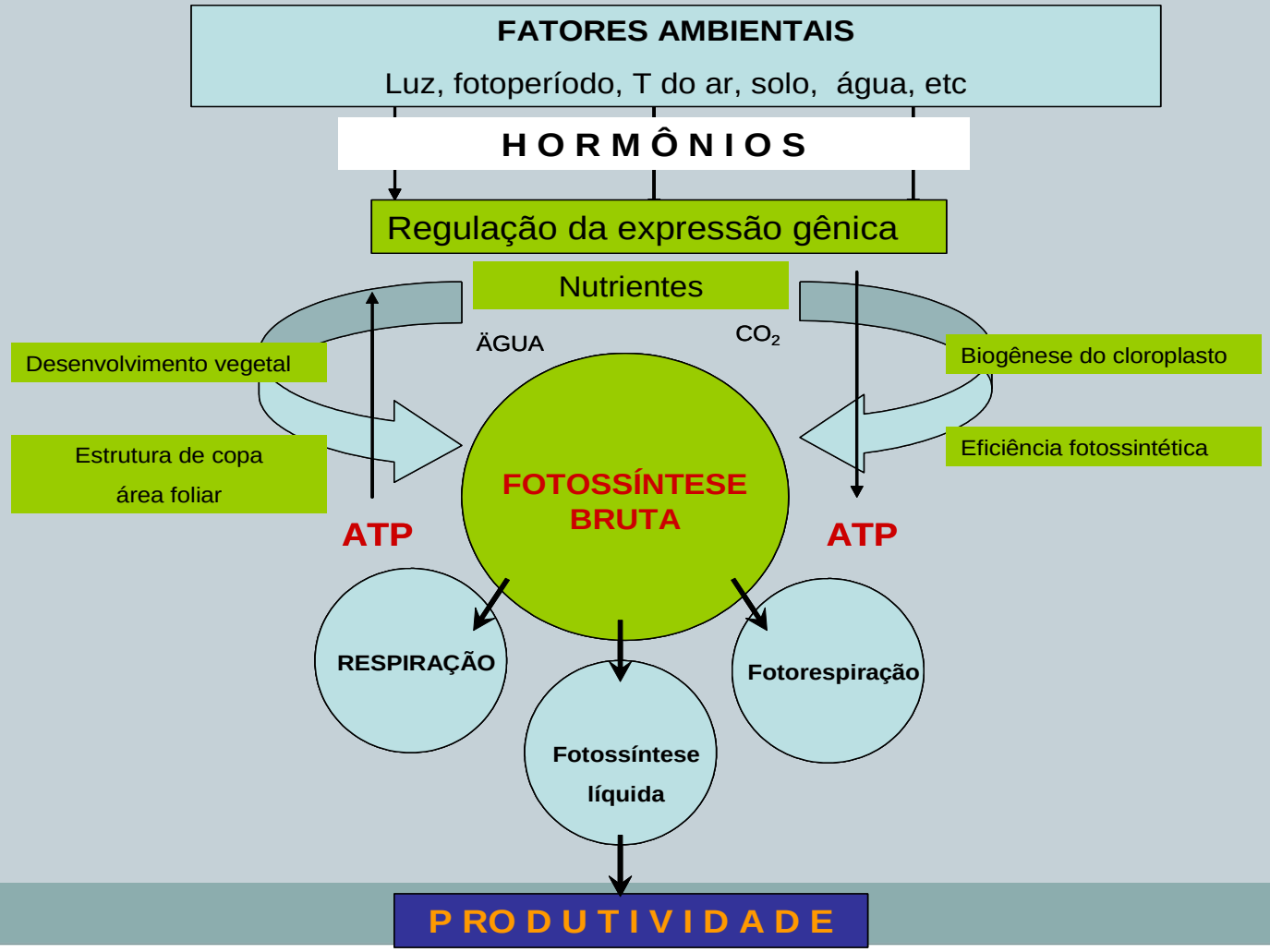
respiração de manutenção

respiração de crescimento

↓

produtos finais a serem comercializados

Produção Vegetal



Produção Vegetal

A produção agrícola é função:

- Quantidade de energia incidente
- Quantidade de energia interceptada e absorvida
- Quantidade de energia convertida (fixação de CO_2)
- Quantidade de energia transportada para partes úteis da planta (partição de assimilados)
- Metabolismo nas partes úteis (eficiência na utilização)

BIOCLIMATOLOGIA VEGETAL

Bioclimatologia aborda as relações entre os organismos vivos e os valores médios das variáveis climáticas em regiões delimitadas.

- Efeitos do ambiente físico sobre as plantas

- Busca por padrões de resposta em função das condições climáticas

Particularidades – Dificuldade de atuação

- Multidisciplinaridade
- Necessidade de conhecimento em áreas diversas como física, matemática, meteorologia, agronomia, fisiologia vegetal e bioquímica
- Risco de se tornar genérico
- Domínio conexo com outras disciplinas

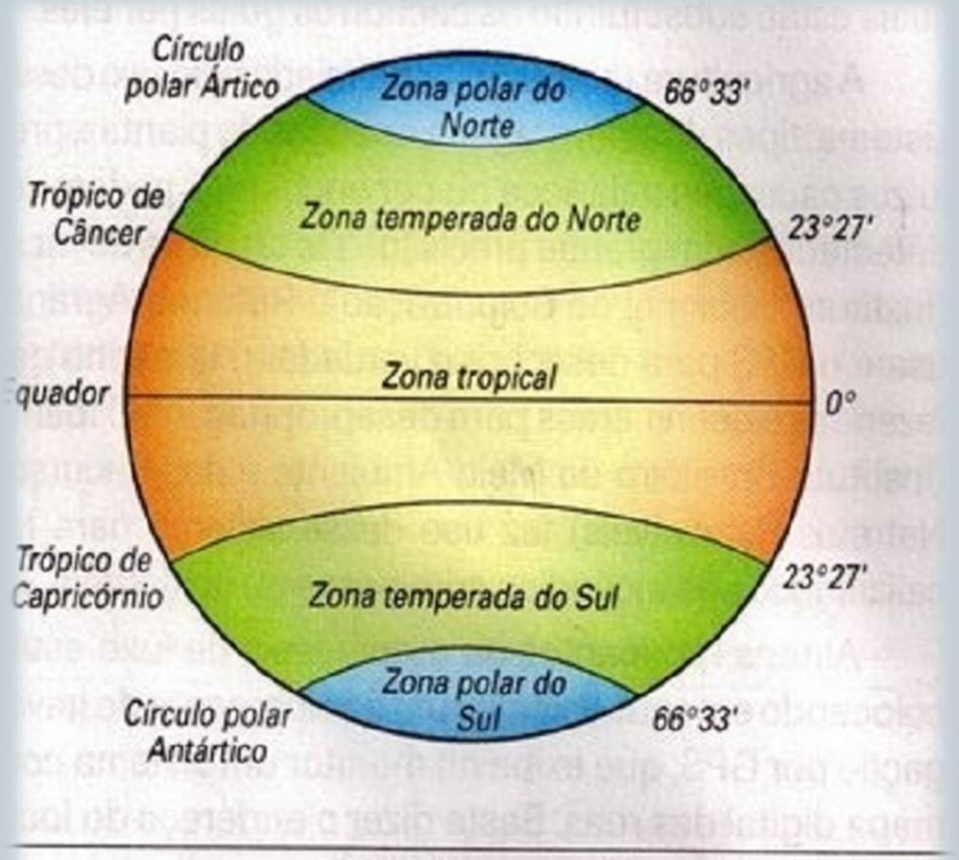
Ferramentas de análise

- Sistemas de Informação Geográfica [SIG]
- Métodos estatísticos
  - *Pacotes estatísticos computacionais*
- Modelagem e Simulação
  - *Linguagens de programação*
  - *Programas estruturados*

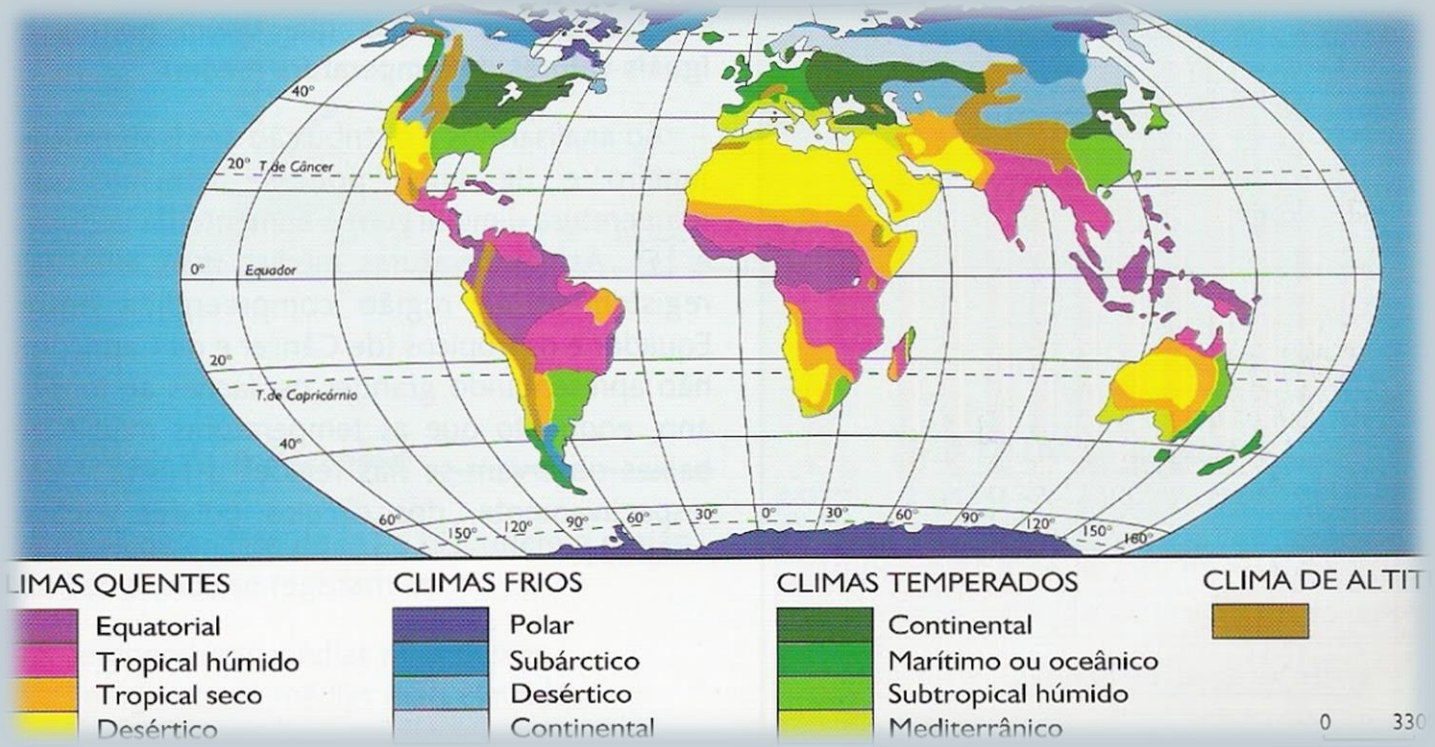
Natureza e coleta dos dados

- **Dados meteorológicos** – estações climatológicas convencionais e automáticas
- **Dados fenológicos** – Definição dos estágios e duração das fases fenológicas (emergência, florescimento, maturação, colheita)
- **Dados fenométricos** – Biomassa, produção, rendimento
- **Interações com doenças e pragas** – ocorrência e duração dos ciclos em função do clima

CLIMA

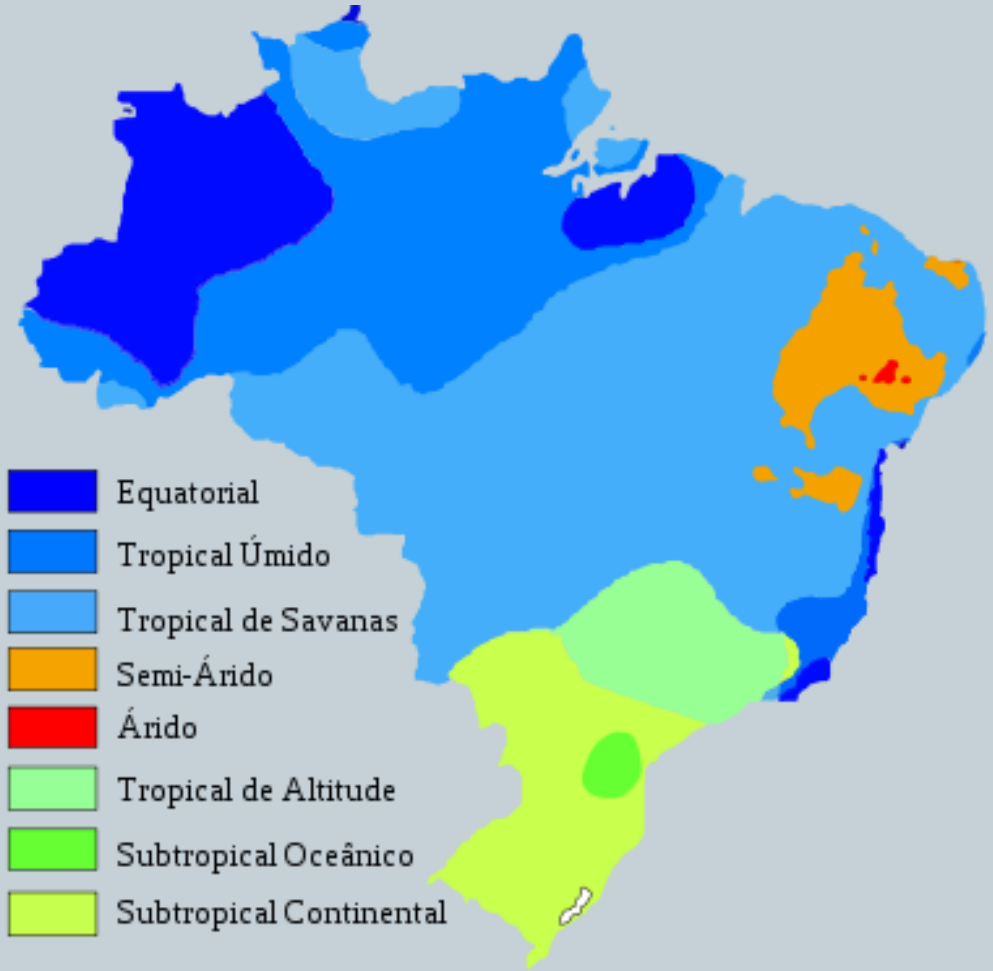


Fonte: *Atlas geografico metodico De Agostin*
Novara, Istituto Geografico De Agostini, 1996/199



Fonte: MUNDO GEOGRÁFICO: Tipos de Clima no Mundo

CLIMA: Brasil



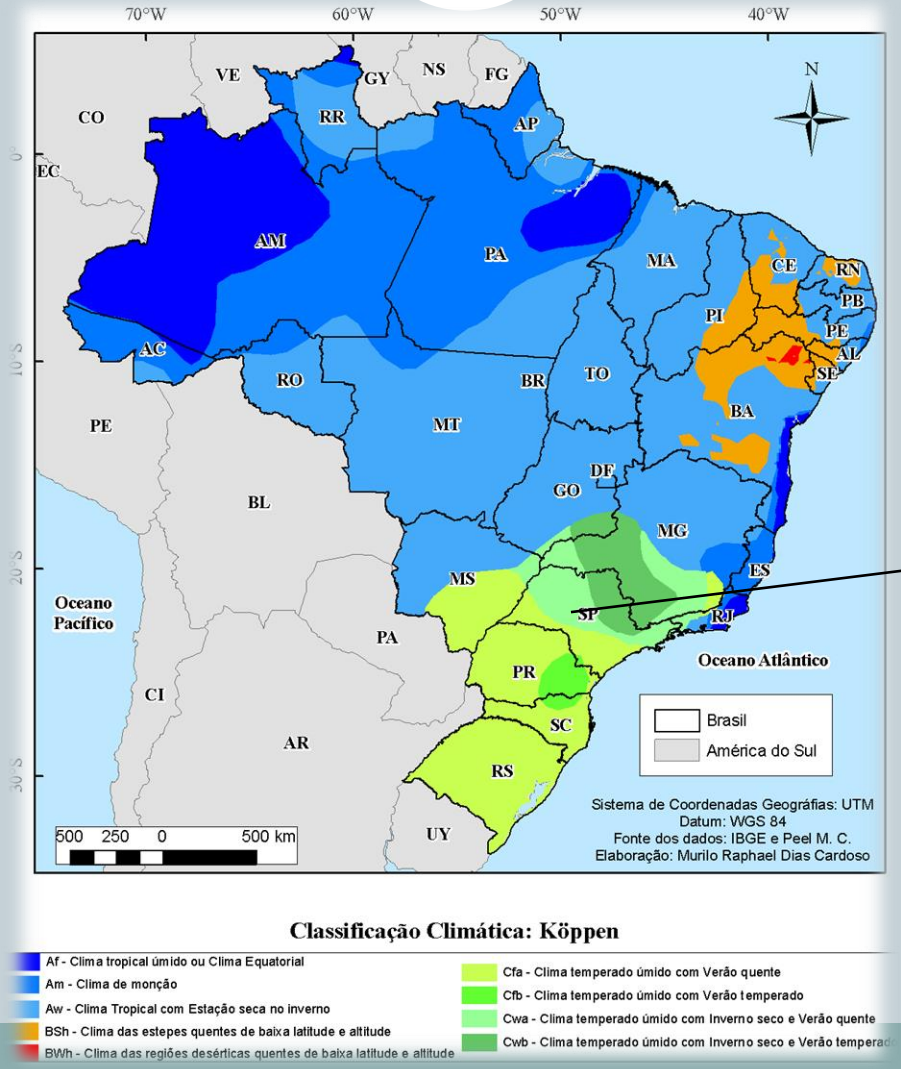
Fonte: IBGE

BIOMA

BIOMA AMAZÔNIA
BIOMA CAATINGA
BIOMA CERRADO
BIOMA PANTANAL
BIOMA MATA ATLÂNTICA
BIOMA PAMPA

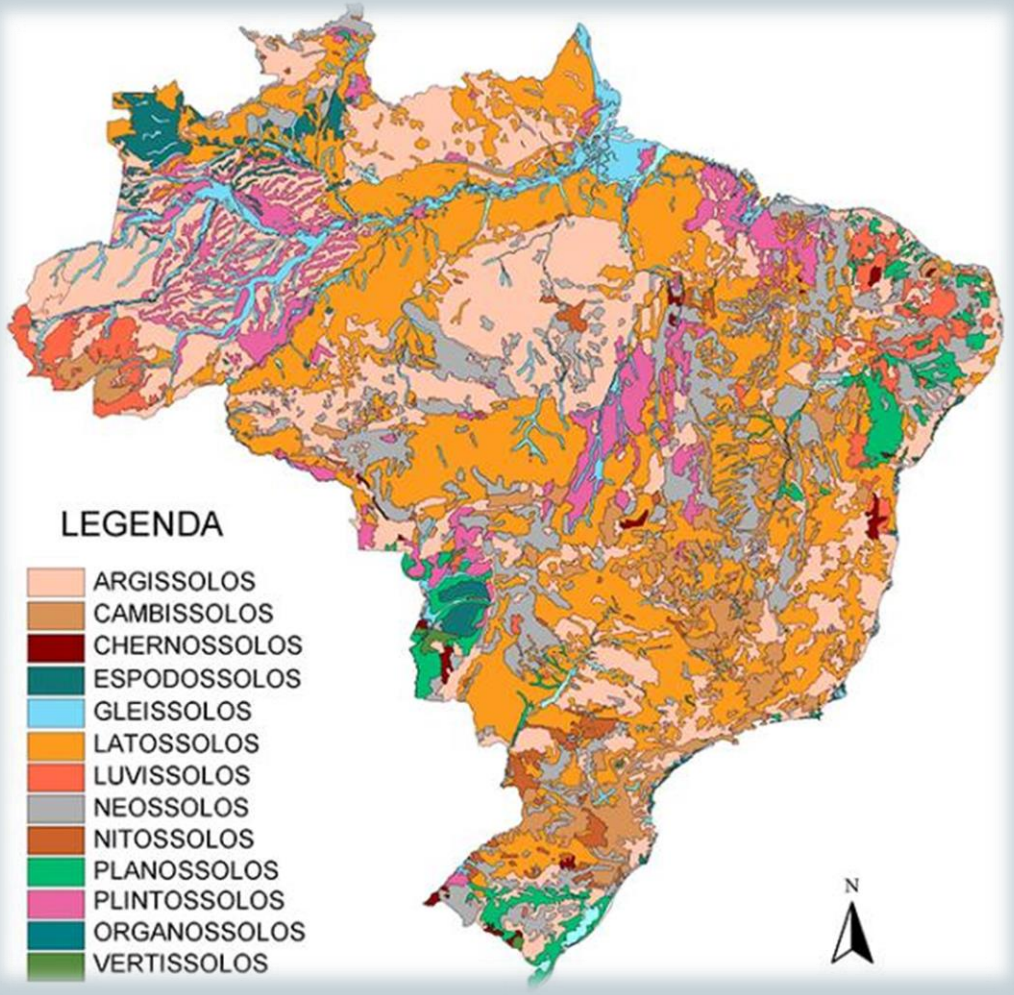
Clima: Classificação de Köppen

A vegetação natural de cada grande região da Terra é essencialmente uma expressão do clima que nela prevalecente.



Pirassununga - Cwa

Solos brasileiros

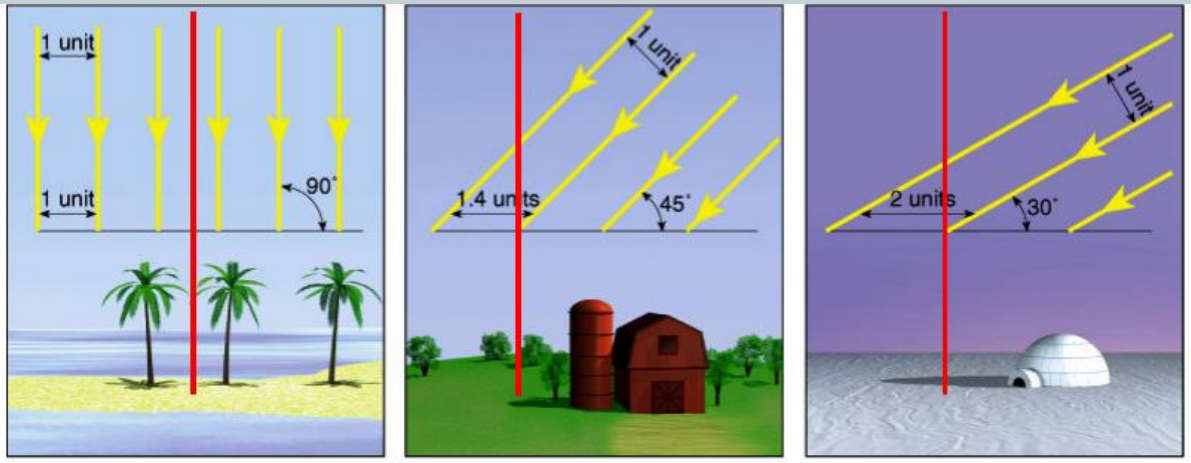


Fonte: EMBRAPA

Radiação Solar

A produção de energia produzida pelo sol é constante, mas a quantidade que alcança determinado ponto da superfície da terra, não é.

Associado ao fato do eixo da terra ser inclinado em relação ao equador solar, e a posição relativa terra-sol alterada a cada instante, um mesmo local do globo, recebe durante o ano quantidades diferentes de energia solar



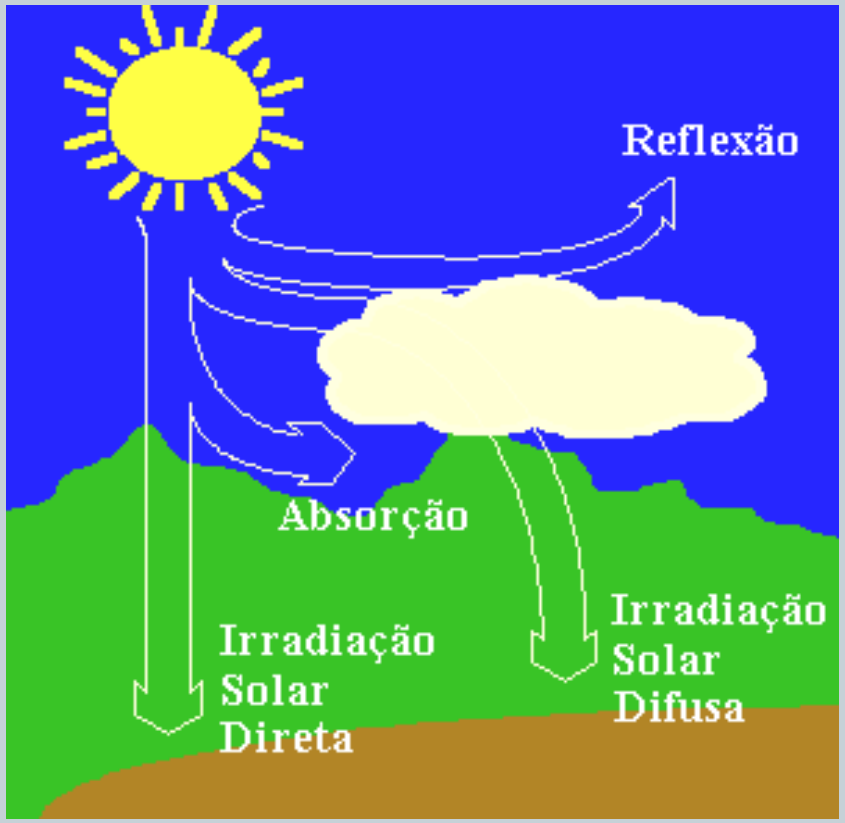
Z = 0º
Para ϕ = 0º

Z = 45º
Para ϕ = ±45º

Z = 60º
Para ϕ = ±60º

A linha vermelha indica o zênite do local

Radiação Solar



Apesar da importância fundamental e vital para a biosfera, apenas em torno de 30 % da radiação solar são absorvidos pela Terra.

Radiação Solar

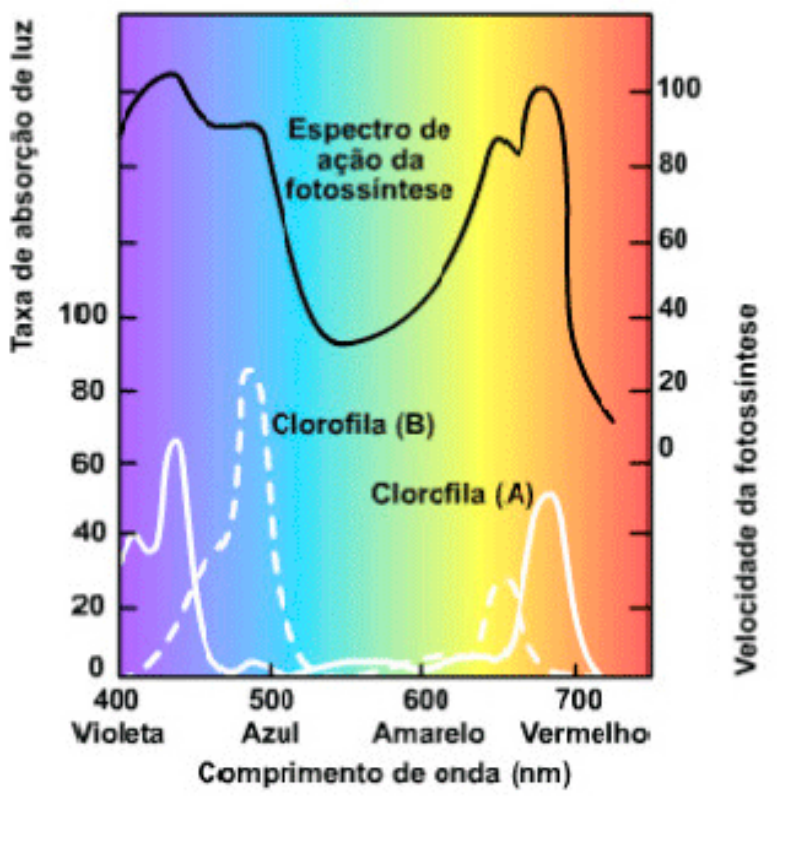
I-insignificante; S=significante; PE=pouco efeito

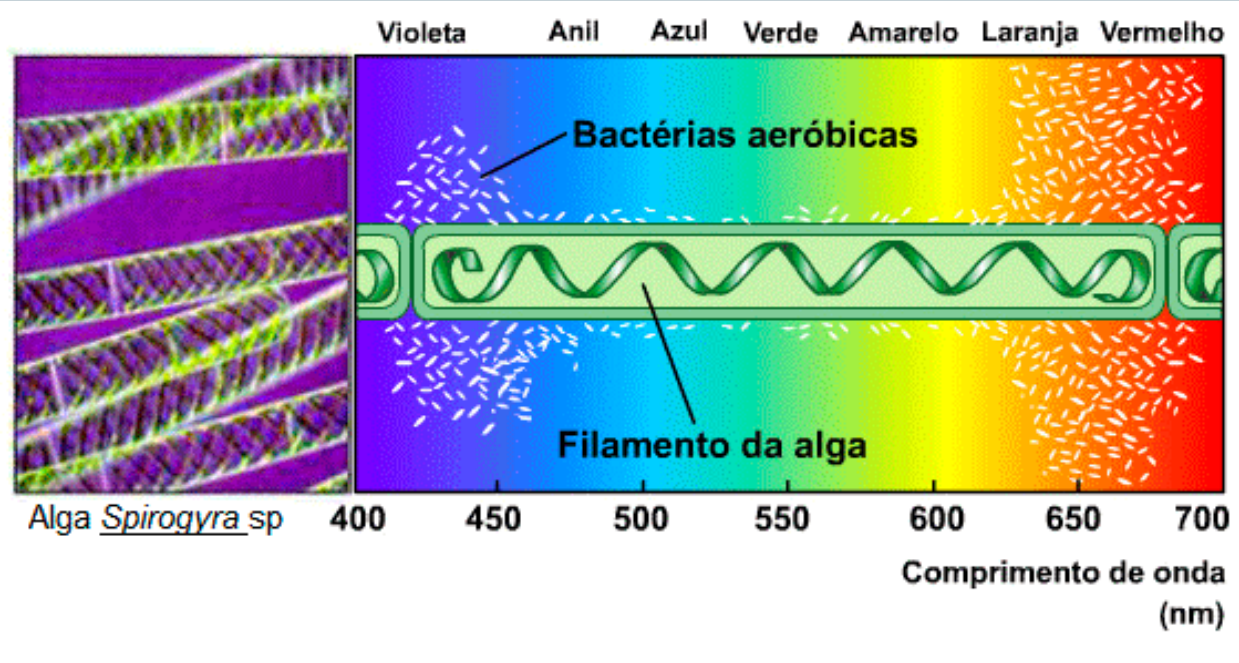
Faixa espectral	Comprim. (nm)	% RS	Aproveitamento na fotossíntese	Efeito da radiação		
				Foto-morfogenético	Foto-destrutivo	Térmico
Ultraviolet.	290-380	0-4	I	PE	S	I
RFA*	380-710	21-46**	S	S	PE	S
Infraverm.	750-4.000	50-79**	I	S	PE	S
Longos comprim.	4.000-100.000	-	I	I	I	S

*Radiação Fotossinteticamente Ativa
**Conforme a posição do sol e a cobertura por nuvens

Fonte: Ross (1981)

Radiação Solar



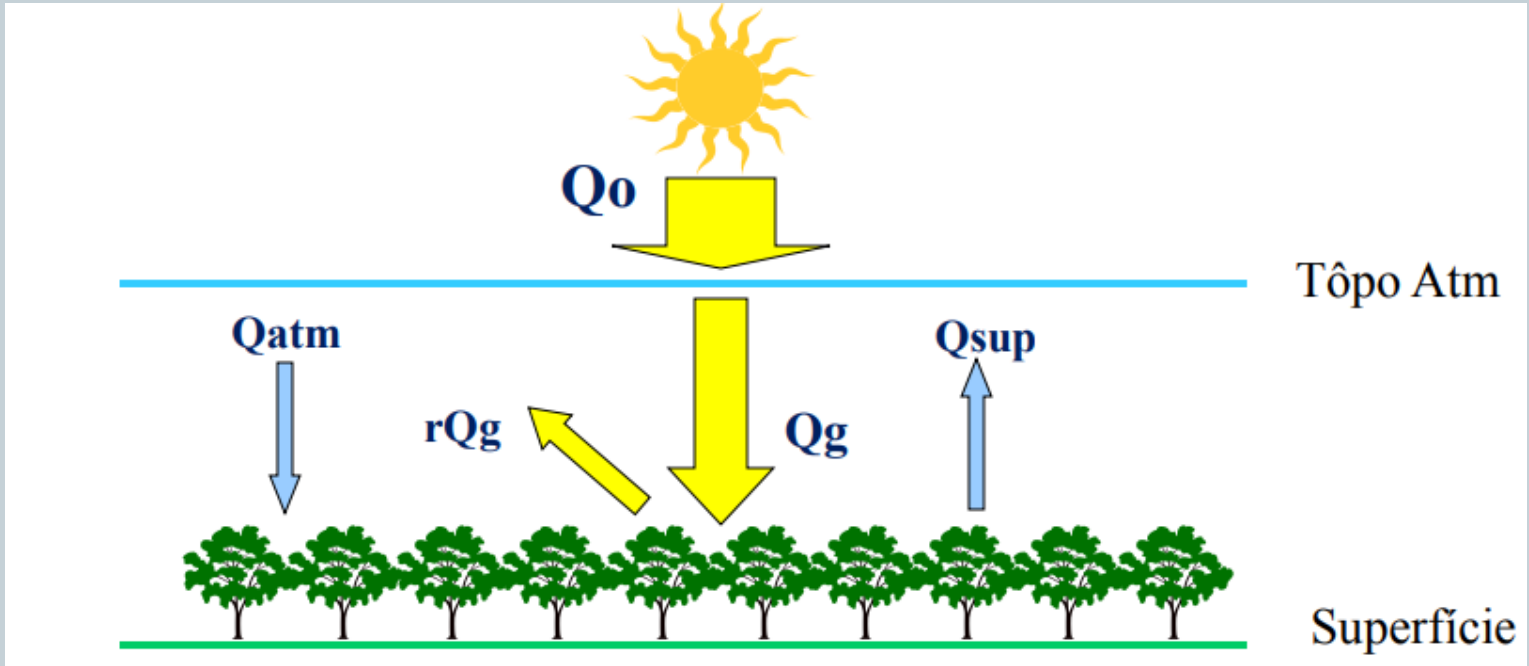


Experimento de T. W Engelmann

https://www.youtube.com/watch?v=RRyVP26WM8w#action=share

Radiação Solar

Balanço de Radiação em superfícies vegetadas



Qo = radiação solar no topo da atmosfera, Qg = radiação solar na superfície, rQg = parcela da RS refletida pela superfície (r = albedo), Qatm = radiação emitida pela atmosfera, Qsup = radiação emitida pela superfície

rQg e Qg – ondas curtas
Qatm e Qsup – ondas longas

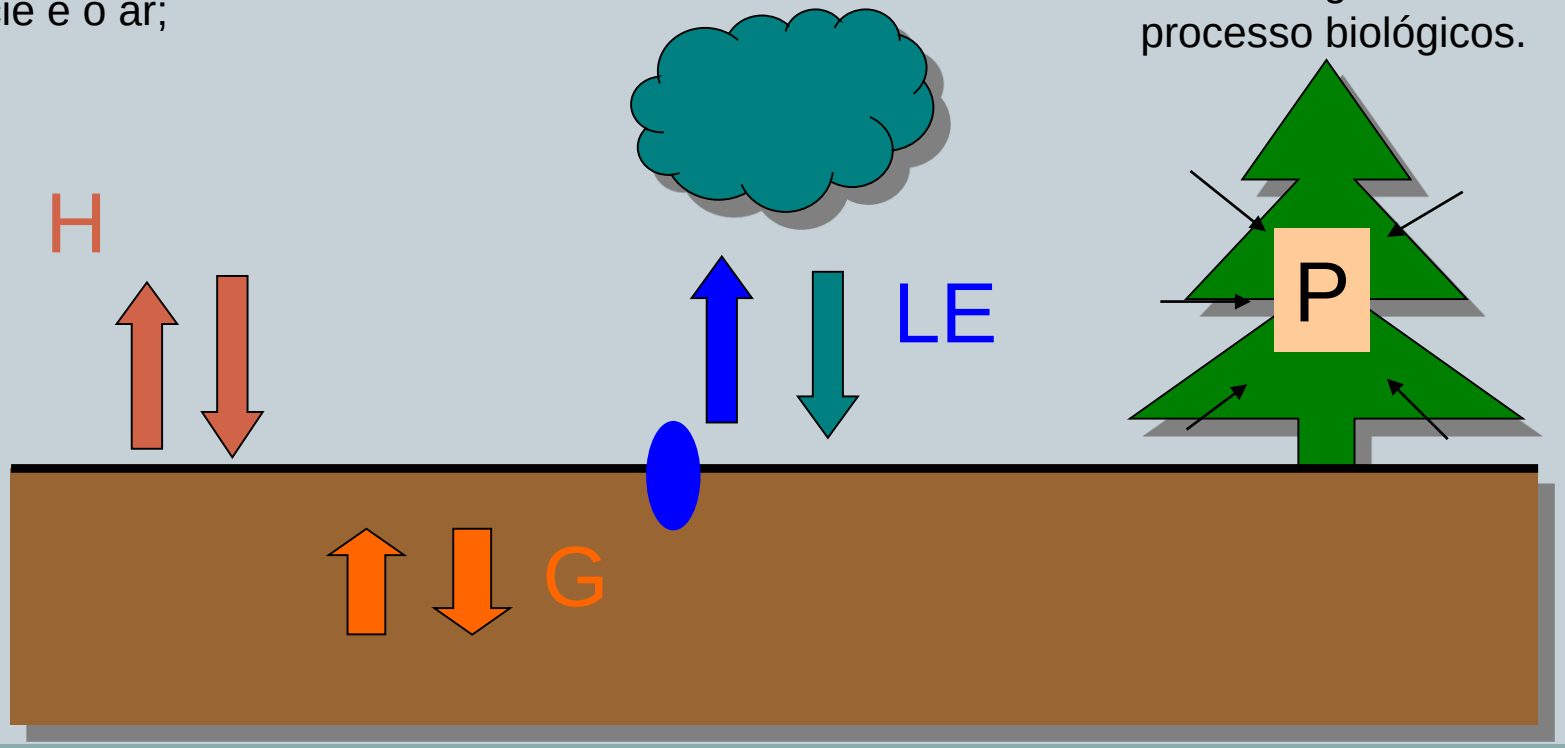
Fonte: Prof. Sentelhas & Prof. Angelocci

Radiação Solar

Rn → Radiação líquida disponível na superfície;
H → Fluxo de calor sensível entre a superfície e o ar;

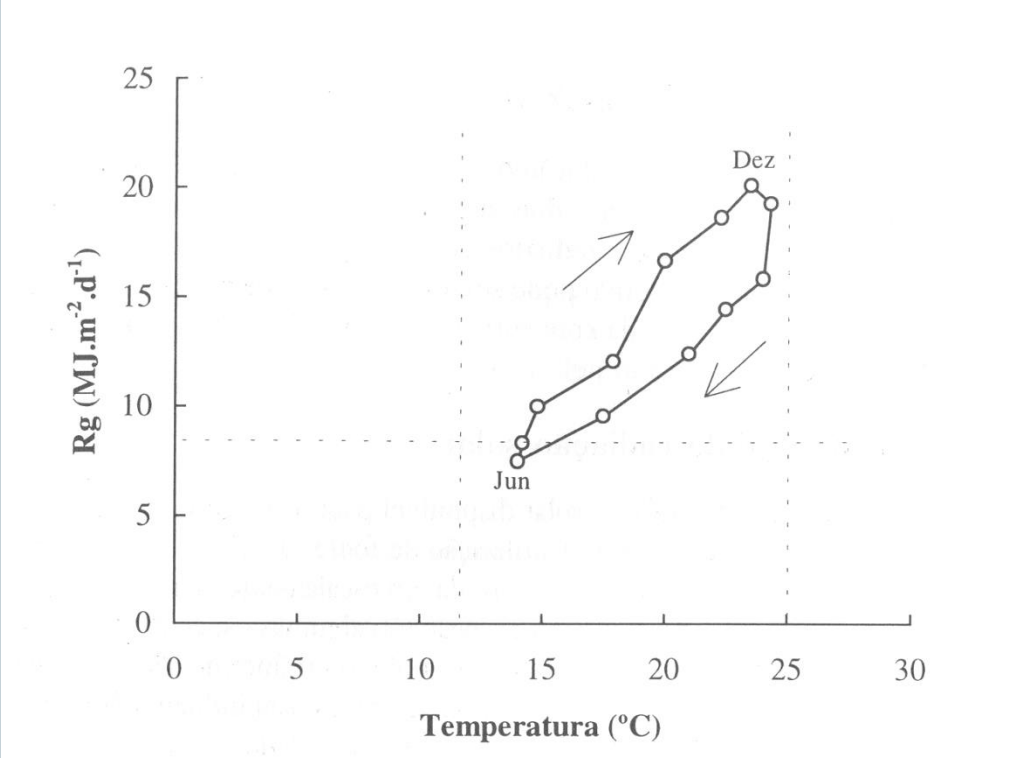
$$Rn = B_{oc} + B_{OL}$$

G → Fluxo de calor sensível no solo;
LE → Fluxo de calor latente, associado às mudanças de fase da água;
P → Energia utilizada nos processo biológicos.



Partição do Saldo de Radiação na superfície

Radiação Solar



Disponibilidade radiativa e térmica ao longo do ano para o cultivo de hortaliças de verão em ambiente protegido na região de Santa Maria/RS. (Fonte: Andriolo, 1999).

Temperatura do Ar

❖Expressa a energia contida no meio. O conhecimento de sua amplitude de variação ao longo do território possibilita a escolha de locais favoráveis ao desenvolvimento de determinada cultura.

Plantas de Clima Temperado	Precisam de baixas temperaturas para induzir a dormência e obter boa produtividade
Plantas de Clima Tropical	São sensíveis a baixas temperaturas

As condições térmicas adequadas variam entre espécies e variedades vegetais

Temperatura do Ar

Sofre influência de vários fatores, como:

- horário do dia, sendo geralmente observada temperatura mais alta por volta das 15 h e mais fria durante a madrugada,
- estação do ano, sendo a estação mais fria o inverno e a mais quente o verão,
- distância da Terra e do Sol em sua translação durante o ano,
- altitude: quanto maior a altitude menor a temperatura, isto porque a camada de ar está mais distante da superfície da Terra, que irradia calor, além do ar rarefeito absorver menos calor,
- latitude, isto é, à medida que nos distanciamos da linha do equador, a temperatura torna-se mais baixa, porque sobre o equador os raios solares incidem perpendicularmente, e à medida que nos afastamos em direção aos pólos, aumenta a inclinação dos raios solares,

Temperatura do Ar

Sofre influência de vários fatores, como:

- nebulosidade, pois as nuvens diminuem a dispersão de massas aquecidas para camadas mais altas, por isso as noites estreladas e sem nuvens são sempre mais frias,
- distribuição das terras e águas, pois a água demora mais para aquecer e também para esfriar, em relação a terra. O calor penetra até 20 m na terra e até 100 a 200 m na água.
- outros fatores, tais como a vegetação, corrente marítima, ventos, chuvas e construção de alvenaria, asfalto, etc

Temperatura do Ar

Tabela 2. Efeito da temperatura média noturna no rendimento de grãos. (Adaptado de notas de D.B.Peters et al., s/d).

Espécie e Tratamento		Temperatura média noturna	Rendimento de Grãos[1]	
		ºC	kg.ha^{-1}	%
Milho	controle	18,3	10.482 a	1,00
	frio	16,6	10.168 a	0,97
	calor	29,4	6.277 b	0,60
Trigo	controle	8,9	2.556 a	1,00
	frio	15,3	2.421 a	0,95
	calor	26,5	1.345 b	0,53
Soja	controle	18,3	3.565 a	1,00
	frio	18,3	3.295 a	0,92
	calor	29,4	2.959 b	0,83

[1]médias seguidas da mesma letra, por espécie, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey (P>0,05).

http://www.infobibos.com/Artigos/2007_1/limitemilho/index.htm

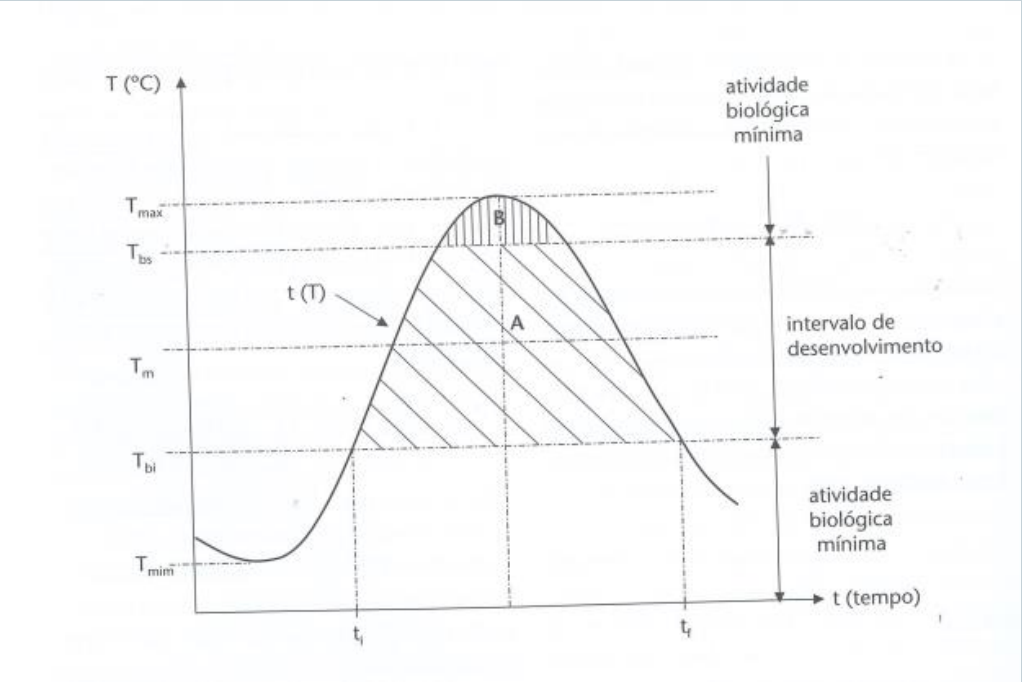
Graus-Dia (GD)

Século XVIII na França (1735) – Réaumur: utilizado para caracterizar o **ciclo fenológico** das culturas agrícolas.

O somatório das temperaturas do ar durante o ciclo vegetativo de uma espécie expressa a quantidade de energia que ela necessita para atingir a maturidade.

$$GD_i = A = \int_{t_i}^{t_f} T(t)dt - B$$

A=é energia útil recebida pela cultura no dia.



Variação de temperatura ao longo do dia

Fonte: Reichardt & Timm (2004)

Graus-Dia (GD)

Réaumur (1735)

* Plantou a mesma cultura no mesmo dia em locais diferentes;
* Observou que o ciclo se completou em diferentes datas;
* Concluiu que o somatório da temperatura média diária do ar é constante ao longo do ciclo e chamou de constante térmica (CT) ou Graus-Dia Acumulados (GDA).

Cultura	T_{bi} (ºC)	GDA (ºC d^{-1})
Arroz	11,8	1985
Girassol	4,0	1715
Soja	6,0	1340
Ervilha (superprecoce)	6,0	1225-1525
Ervilha (precoce)	6,0	1526-1725
Ervilha (semiprecoce)	6,0	1726-2000
Ervilha (tardia)	6,0	2000-2275

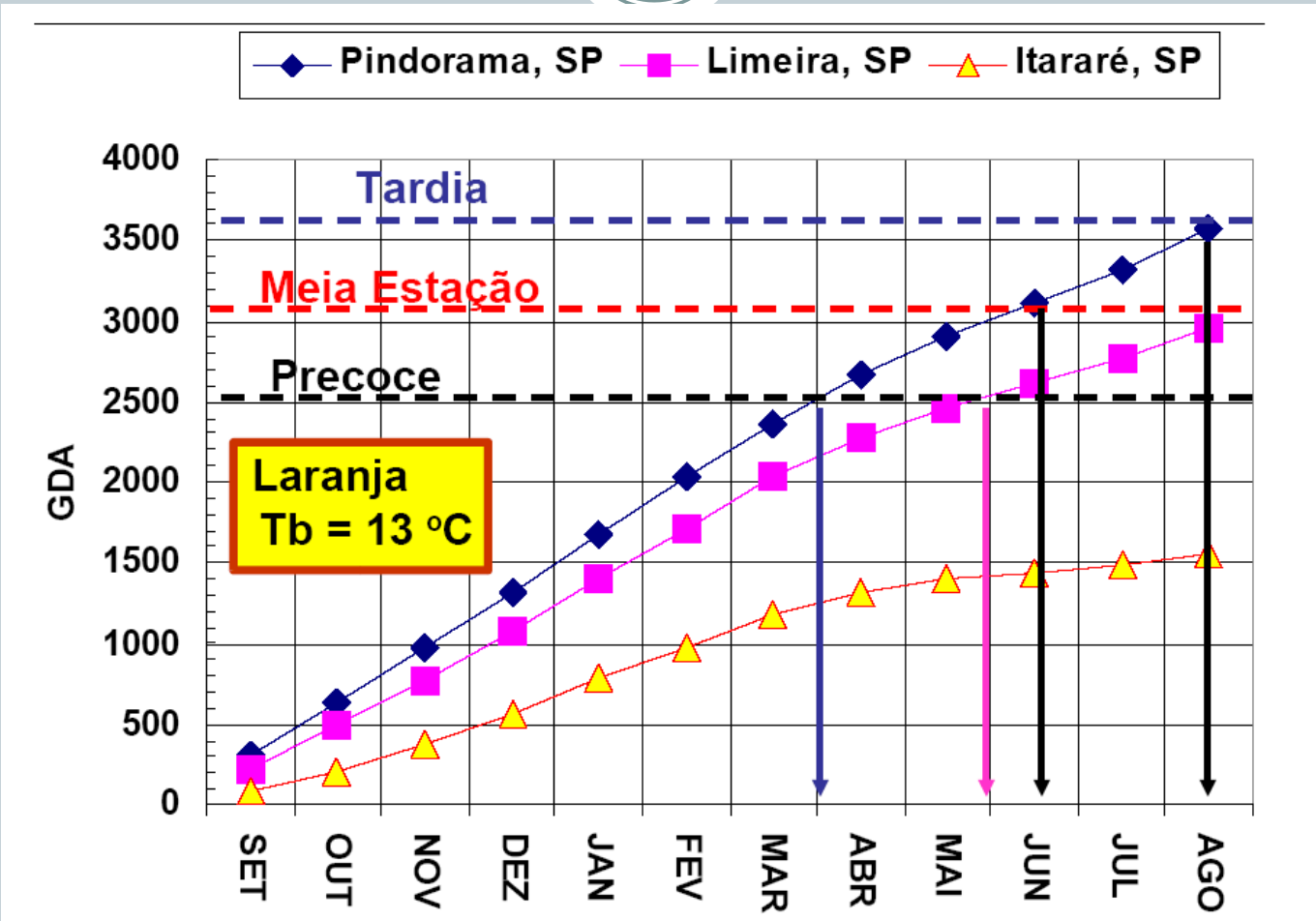
Fonte: Reichardt & Timm (2004)

Graus-Dia (GD)

Aplicações:

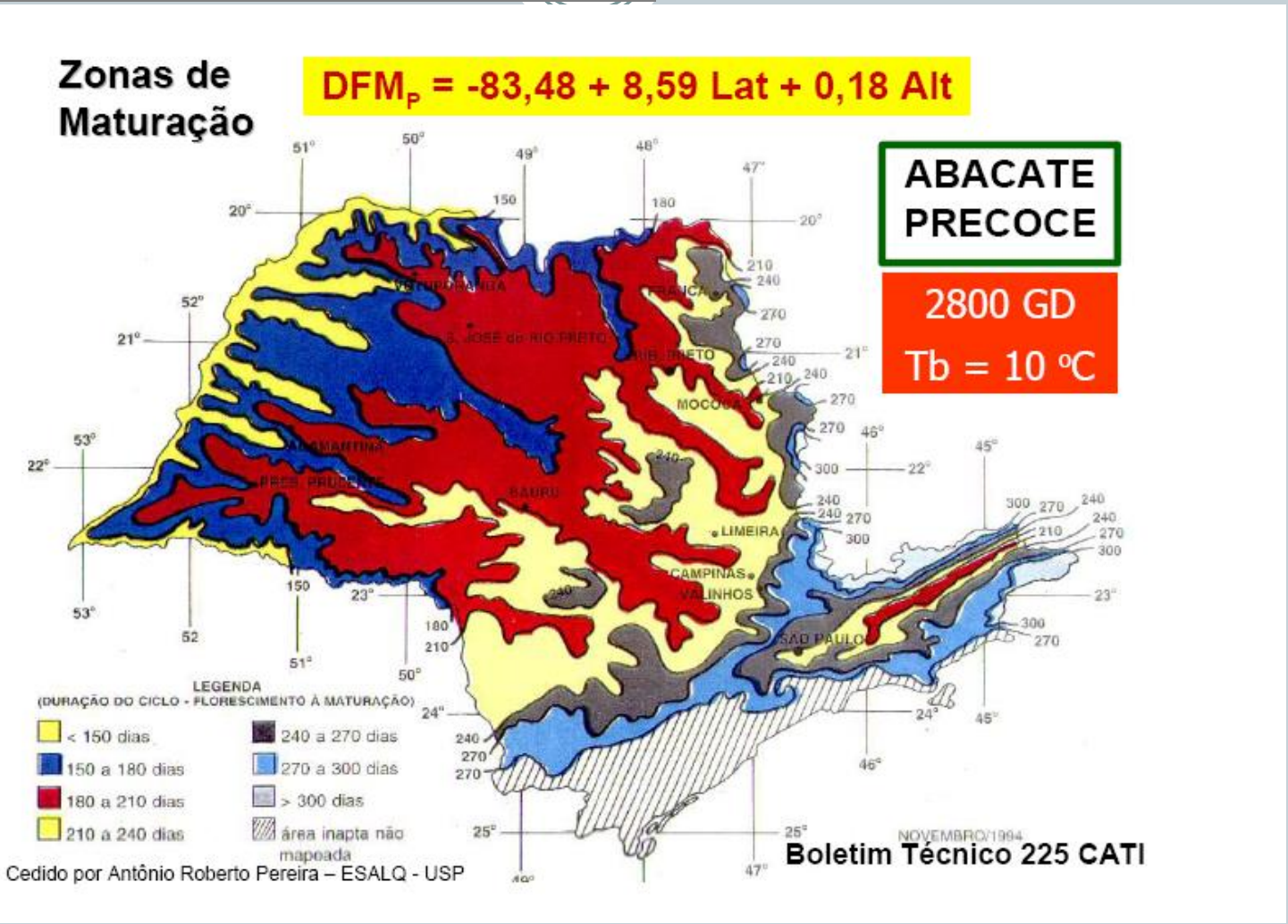
- Escolha de material genético compatível com o regime térmico local (cultivares)
- Planejamento de épocas de plantio (**DFM – Duração florescimento/maturação – Equação: Alt. e Lat**)
- Estimativa de épocas de colheita
- Estimativa do potencial de infestação por insetos (pragas)

Graus-Dia (GD)

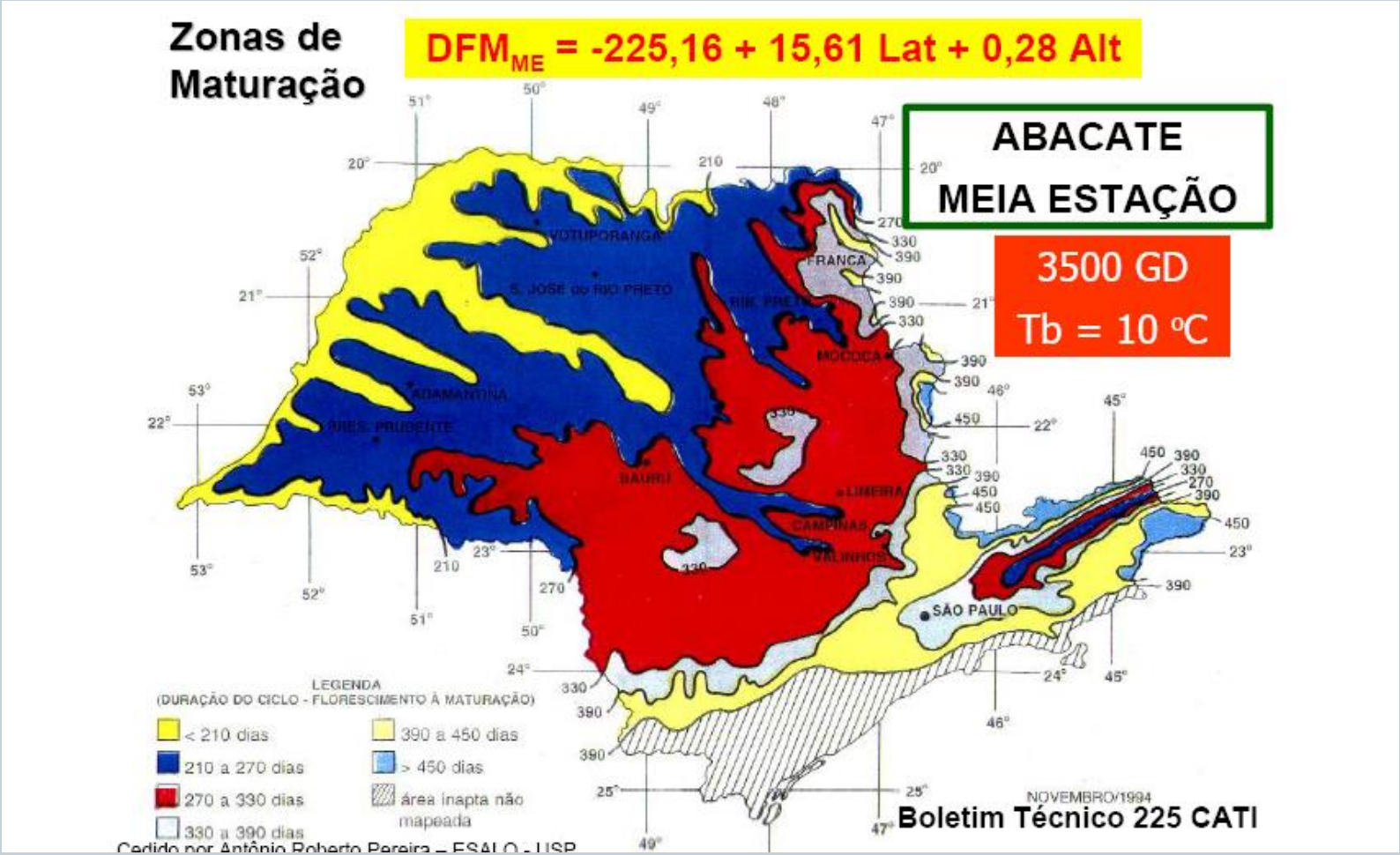


Cedido por Antônio Roberto Pereira – ESALQ - USP

Graus-Dia (GD)


Zonas de Maturação
DFMP = -83,48 + 8,59 Lat + 0,18 Alt
ABACATE PRECOCE
2800 GD
Tb = 10 ºC
LEGENDA
(DURAÇÃO DO CICLO - FLORESCIMENTO À MATURAÇÃO)
< 150 dias
150 a 180 dias
180 a 210 dias
210 a 240 dias
240 a 270 dias
270 a 300 dias
> 300 dias
área inapta não mapeada
Cedido por Antônio Roberto Pereira – ESALQ - USP
NOVEMBRO/1994
Boletim Técnico 225 CATI

Graus-Dia (GD)


Zonas de Maturação
DFM_{ME} = -225,16 + 15,61 Lat + 0,28 Alt
ABACATE
MEIA ESTAÇÃO
3500 GD
Tb = 10 °C
VOTUPORANGA
S. JOSÉ do RIO PRETO
RIB. PRETO
FRANCA
MOCOCA
ADAMANTINA
ÁRES. PRUDENTE
BAURU
LIMEIRA
CAMPINAS
VALINHOS
SÃO PAULO
LEGENDA
(DURAÇÃO DO CICLO - FLORESCIMENTO À MATURAÇÃO)
< 210 dias
210 a 270 dias
270 a 330 dias
330 a 390 dias
390 a 450 dias
> 450 dias
área inapta não mapeada
NOVEMBRO/1994
Boletim Técnico 225 CATI
Cedido por Antônio Roberto Pereira – ESALQ - USP

Horas de Frio (HF)

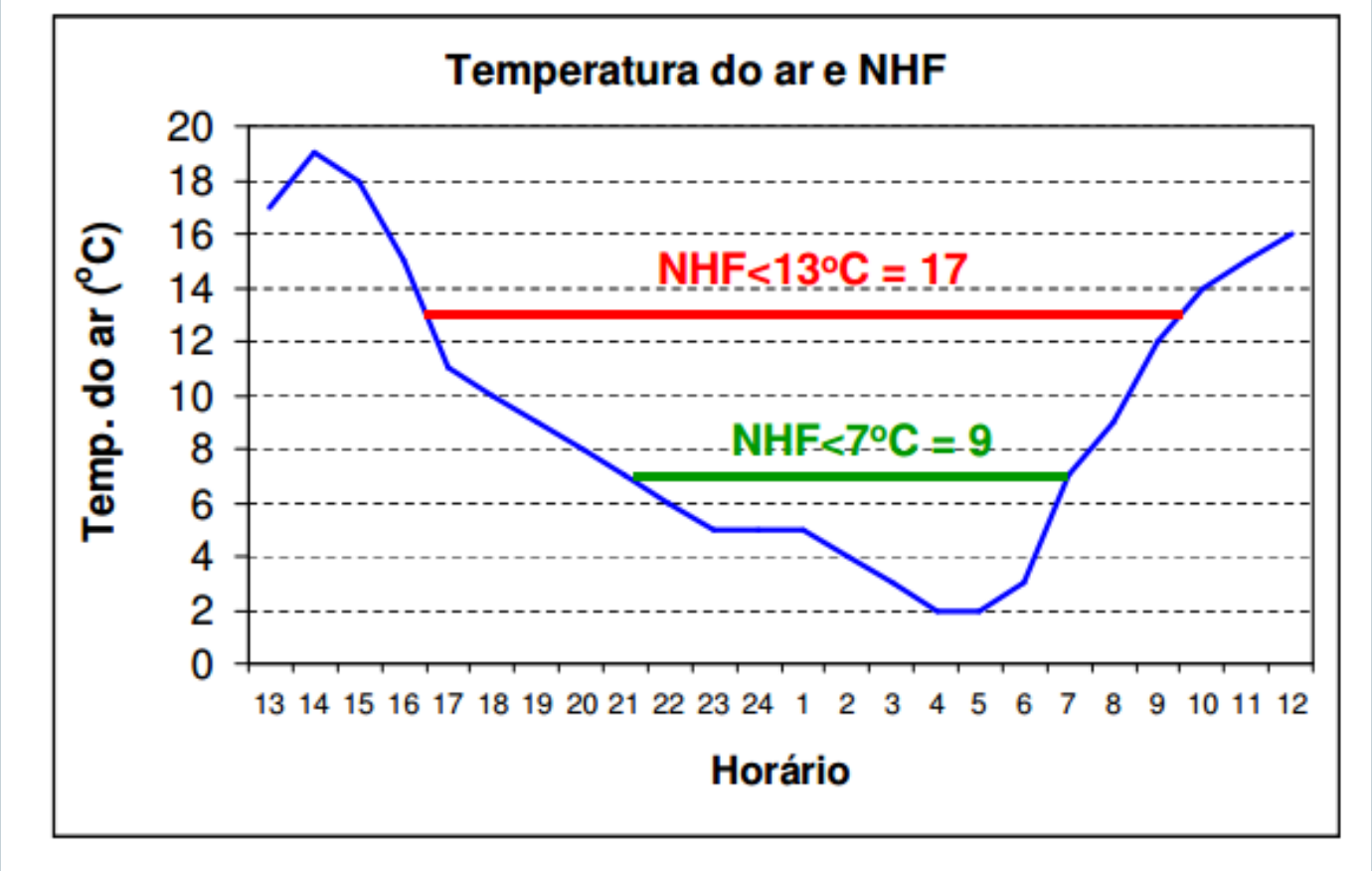
Espécies vegetais de clima temperado necessitam de repouso invernal para indução do florescimento e brotação;

Somatório de temperaturas abaixo de uma certa temperatura (geralmente 7 °C ou 13 °C);

Existe grande variação entre espécies e cultivares

Horas de Frio (HF)

Número de Horas de Frios



Fonte: Gama, M. - FARO

Horas de Frio (HF)

Número de Horas de Frios

- O NHF varia entre espécies e variedades;
- Alguns exemplos de frutíferas com temperatura crítica de 7 °C

Maça	250 a 1700h
Pessego	0 a 950h
Cereja	500 a 1400h
Pera	200 a 1500h

Horas de Frio (HF)

Número de Horas de Frios

- Ex.: O Kiwi requer 100 dias nos quais ocorram 6 horas com temperatura inferior a 7 °C.

Horas de Frio (HF)

Número de Horas de Frios

Caso o inverno de determinado ano ou do local de cultivo não tenha **NHF** suficiente para atender à exigência da espécie/variedade, poderão ocorrer as seguintes anomalias nas plantas:

- Queda de gemas frutíferas;
- Atraso e irregularidade na brotação e floração;
- Ocorrência de florescimento irregular e prolongado.

Geada

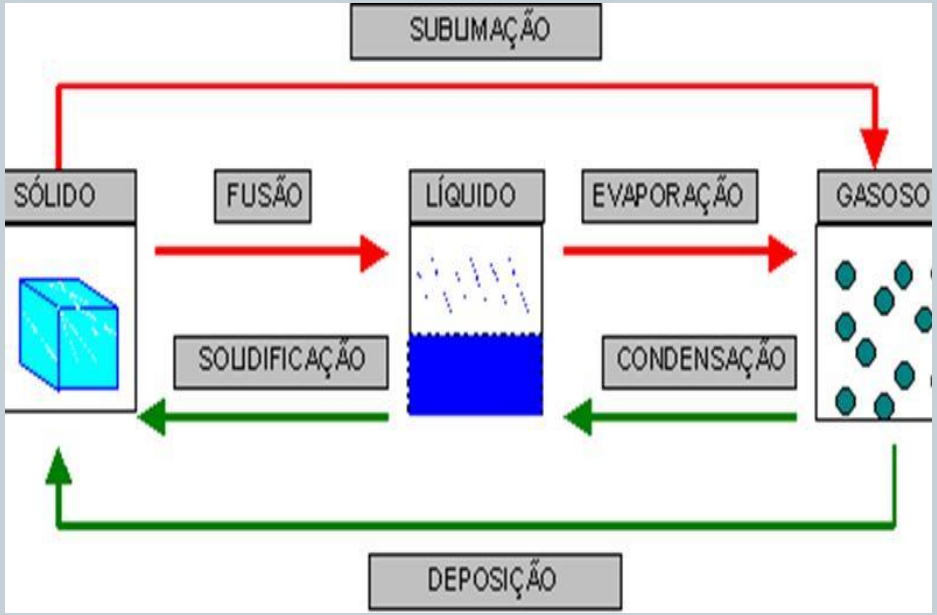
Geada

Ponto de congelamento ou
ponto de geada para de algumas espécies

Espécie	Ponto de Congelamento (°C)
Banana	-1,1
Limão	-1,5
Laranja	-3,2 a -1,5
Feijão	-1,2 a -0,8
Brócolis	-0,6
Alface	-0,4 a -0,2
Tomate	-0,9 a -0,5

Vapor d' àgua

O vapor d'água, devido a sua estrutura molecular, age como um "equalizador de energia" do meio, atenuando as variações acentuadas de temperatura do ar, sendo também o principal absorvente seletivo da radiação solar.



PROCESO	CALOR LATENTE [cal/g]
Fusão	80
Evaporação	600
Sublimação	680
Condensação	600
Solidificação	80
Deposição	680

Vapor d' àgua

Sob o ponto de vista dos vegetais

- **Desenvolvimento das plantas, uma vez que a transpiração é afetada pela U.R.**
- **Condições para o estabelecimento de pragas e doenças. Exemplo: Orvalho condicionando a instalação de fungos.**
- **Secagem de grãos, forrageiras, feno e madeiras são condicionados pela U.R.**

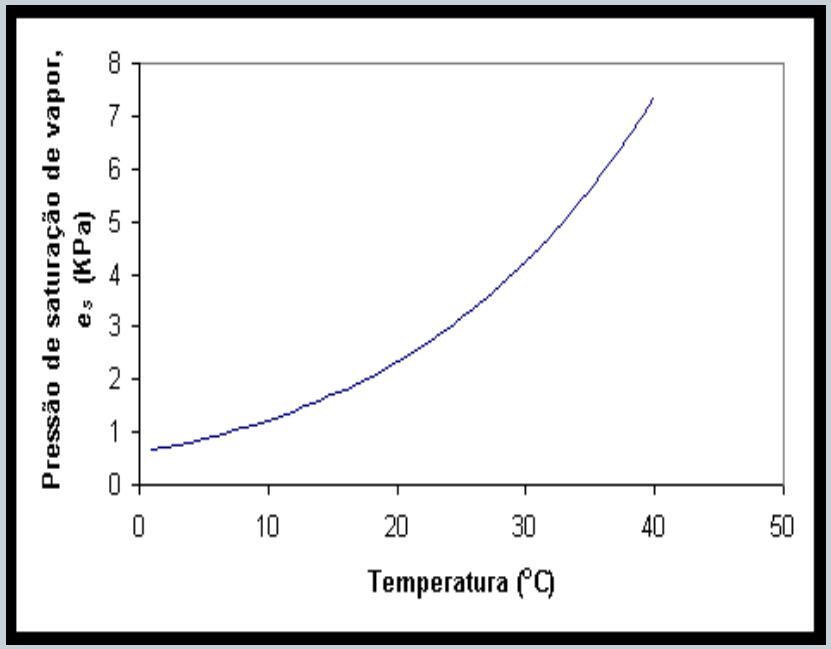
Pressão de Saturação de Vapor (e_s)

É a pressão de vapor correspondente à máxima quantidade de vapor d'água que o ar pode reter a dada temperatura:

Equação de Tetens:

$$e_s = 0{,}6108 \cdot 10^{\left(\frac{7{,}5 \cdot T}{(237{,}3+T)}\right)} [kPa]$$

$$e_s = 4{,}58 \cdot 10^{\left(\frac{7{,}5 \cdot T}{(237{,}3+T)}\right)} [\text{mmHg}]$$



Em que, T é a temperatura média do ar, em °C.

Pressão de Saturação de Vapor (e_s)

TEMPERATURA (° C)	g de H_20/kg de ar seco
-40	0,1
-30	0,3
-20	0,75
-10	2,0
0	3,5
5	5,0
10	7,0
15	10,0
20	14,0
25	20,0
30	26,5
35	35,0
40	47,0

Umidade Relativa do Ar (UR)

- É a relação entre a quantidade de vapor d'água existente em uma amostra e a quantidade máxima possível que ela pode reter:

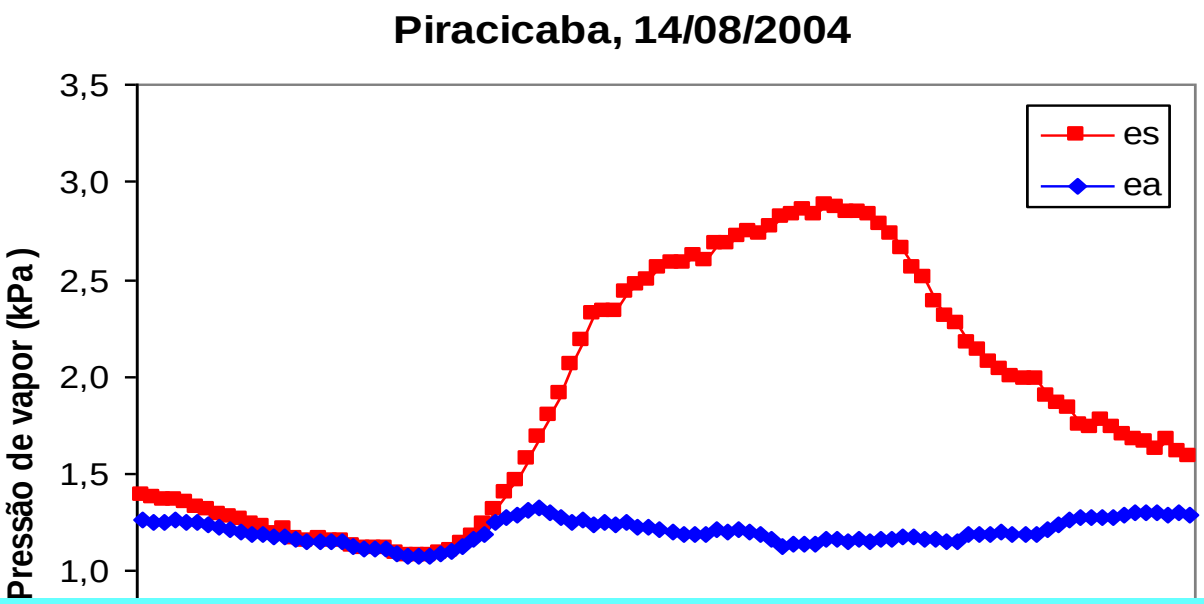
$$UR = \frac{e_a}{e_s} \cdot 100[\%]$$

Ar seco: UR = 0%

Ar úmido: 0 > UR < 100%

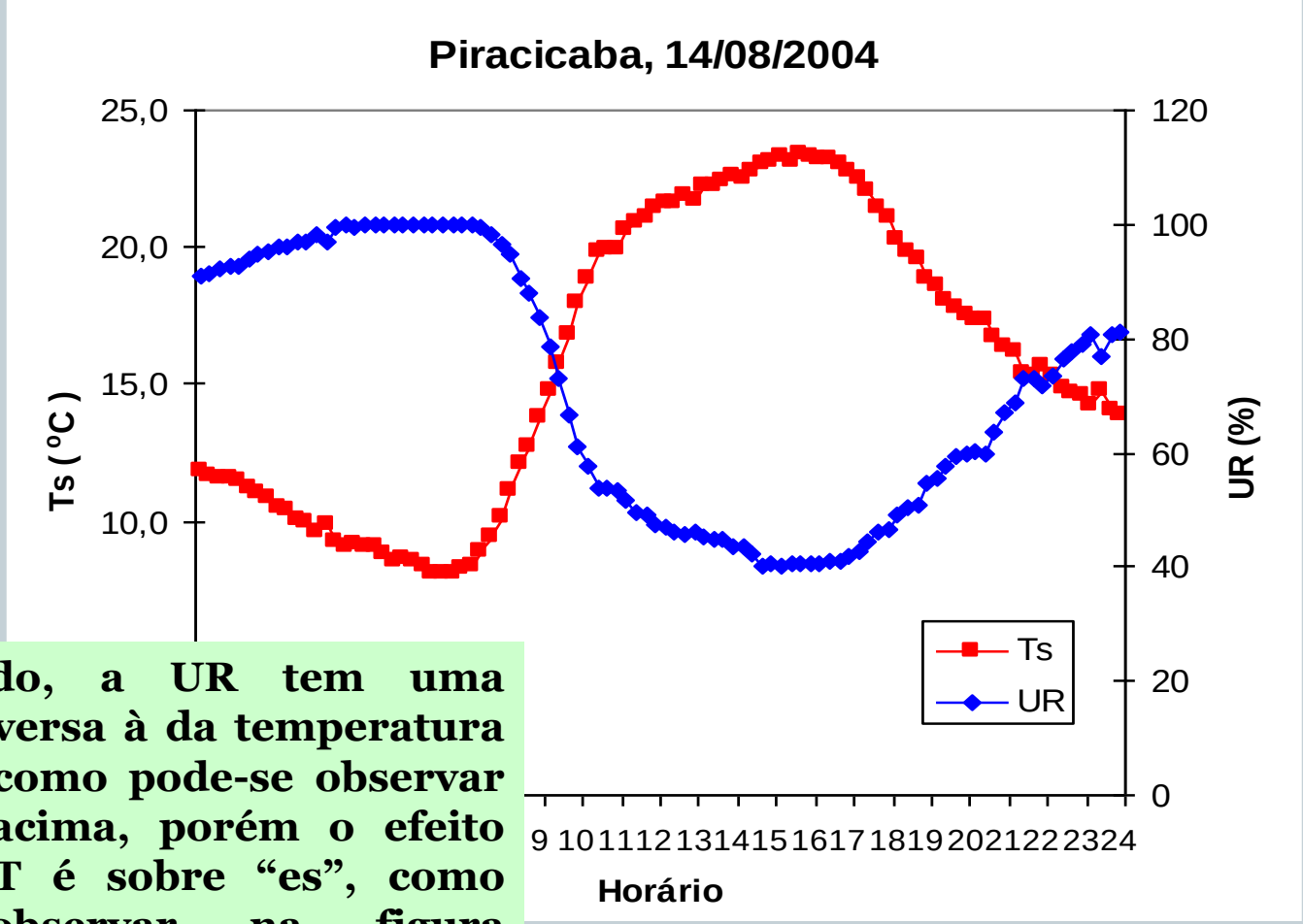
Ar saturado: UR = 100%

Umidade Relativa do Ar (UR)



Na escala diária praticamente não há variação de "ea" ao longo do dia, ao passo que "es" varia exponencialmente com a temperatura do ar. Isso faz com que a UR varie continuamente ao longo do dia, chegando ao valor mínimo no horário de Tmax e a um valor máximo a partir do momento em que a temperatura do ponto de orvalho (To) é atingida.

Umidade Relativa do Ar (UR)



Desse modo, a UR tem uma variação inversa à da temperatura do ar (T), como pode-se observar na figura acima, porém o efeito direto da T é sobre "es", como pode-se observar na figura anterior.

Duração do Período de Molhamento (DPM)

DPM é o tempo em que as superfícies vegetais (folhas, frutos, flores e colmo) se apresentam com molhamento, o qual é principalmente proveniente da condensação de orvalho. Essa variável é de extrema importância no contexto da fitossanidade vegetal, já que ela é fundamental para o processo infeccioso de doenças fúngicas e bacterianas.

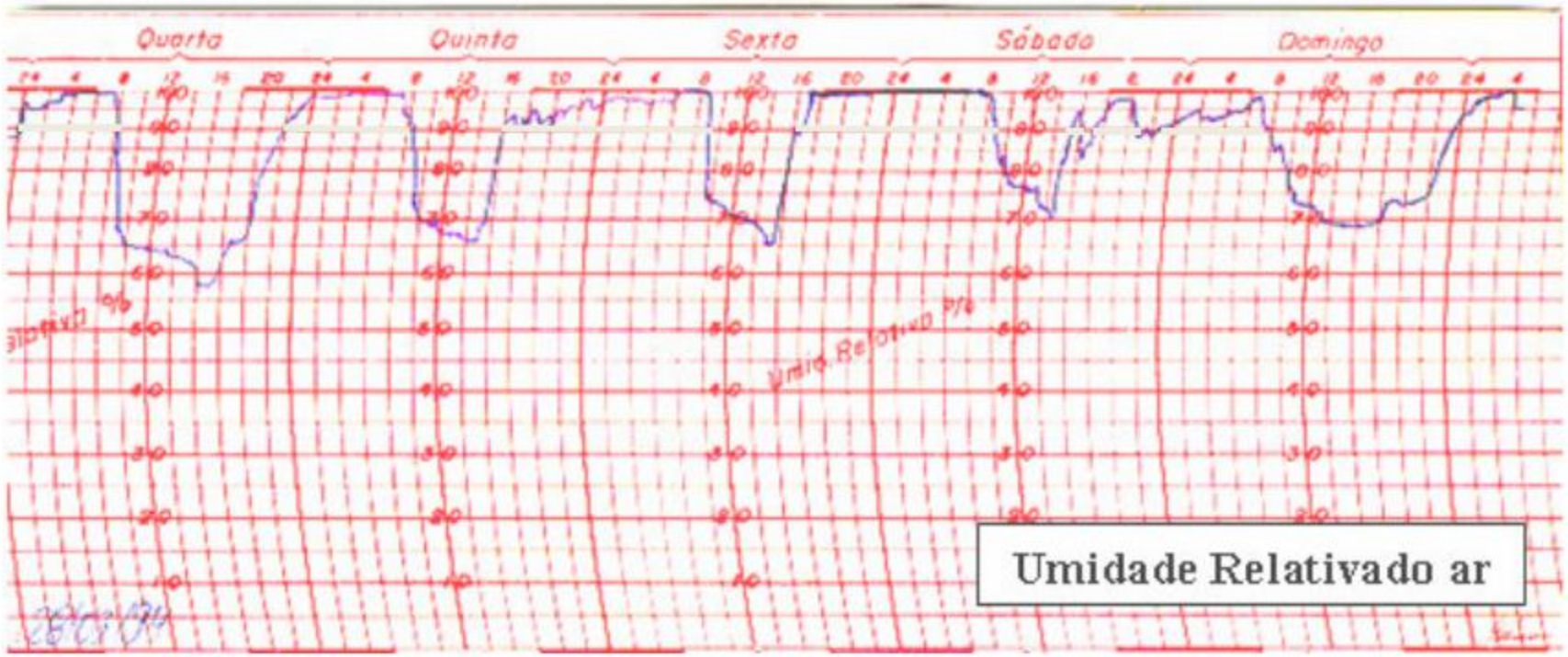
Duração do Período de Molhamento (DPM)

Lesões causadas por doenças em folhas e frutos

Duração do Período de Molhamento (DPM)

DPM = NHUR>90%

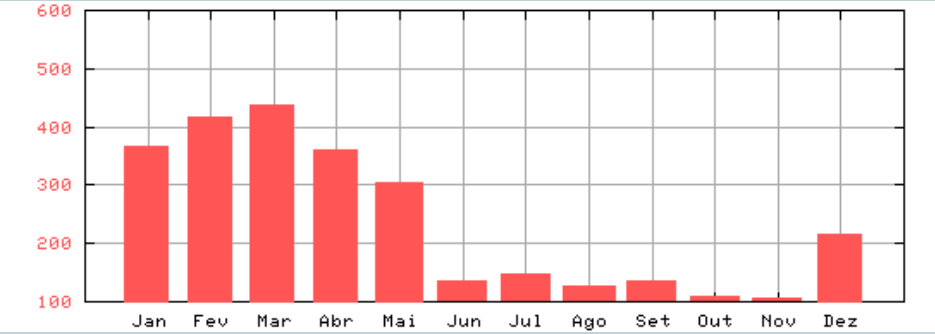
DPM = 8h **DPM = 10h** **DPM = 17h** **DPM = 17h** **DPM = 11h**



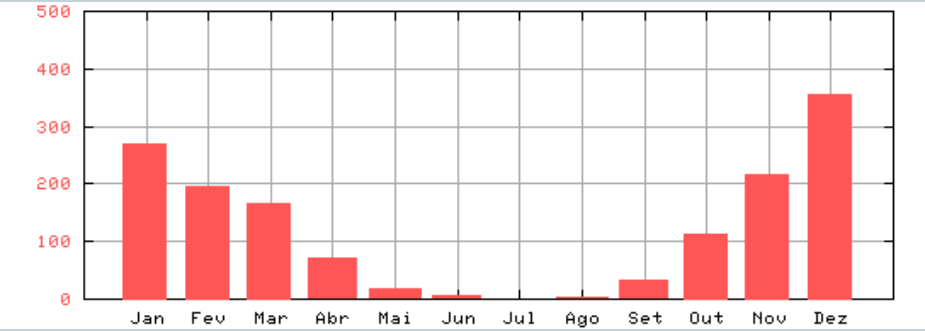
Precipitação

Precipitações Médias

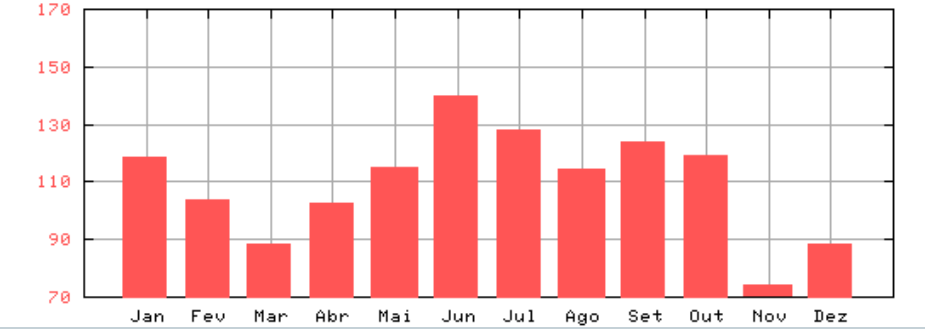
Belém



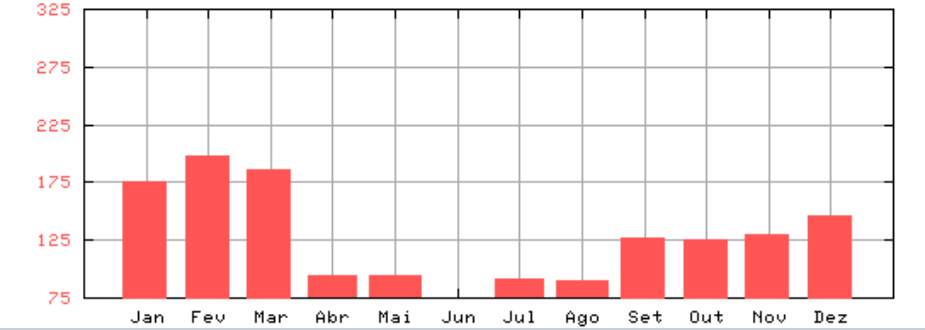
Cuiabá



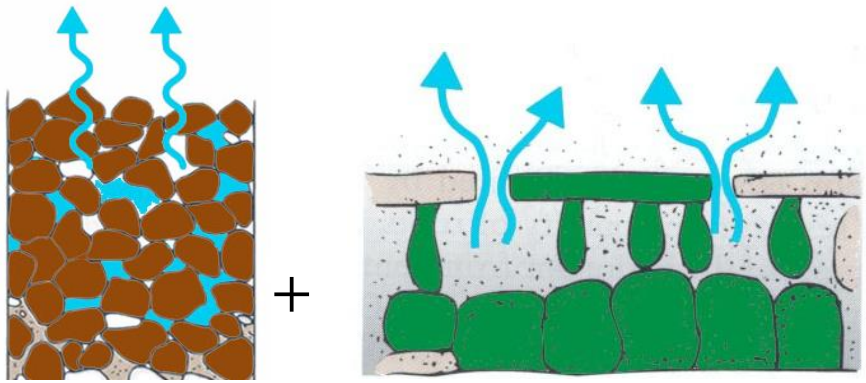
Porto Alegre



Florianópolis



EVAPOTRANSPIRAÇÃO

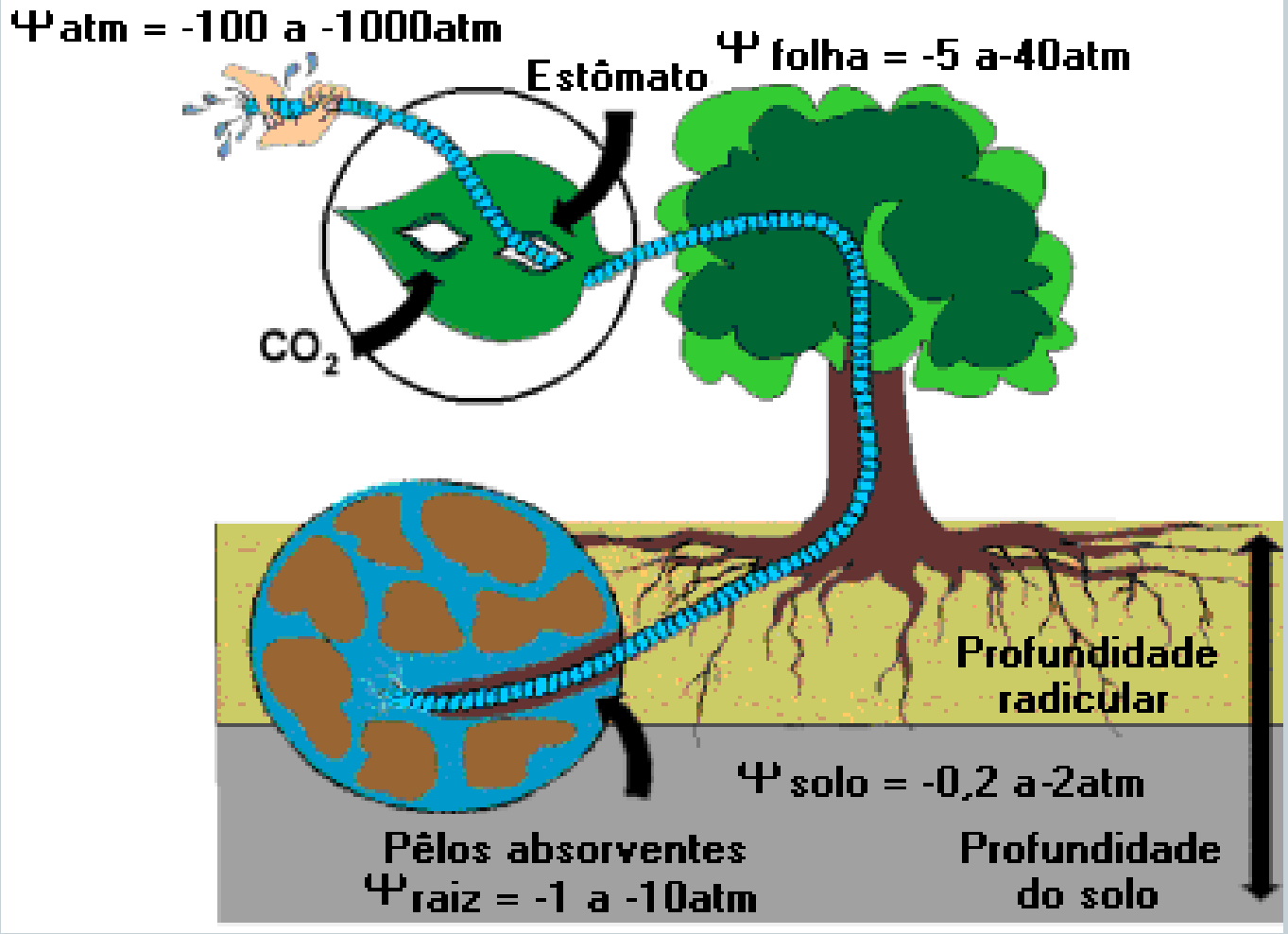


+ = Evapotranspiração

Evapo Transpi ração

A evapotranspiração é um importante componente do ciclo hidrológico, uma vez que, grande parte da água precipitada retorna a atmosfera por este processo (SHARMA, 1985)

Evapotranspiração



Evapotranspiração

Definições

Potencial (ETP) ou de Referência (ETo) – É a quantidade de água que seria utilizada por uma extensa superfície vegetada com grama, com altura entre 8 e 15 cm, em crescimento ativo, cobrindo totalmente a superfície do solo, e sem restrição hídrica.

Real (ETR) – É a quantidade de água realmente utilizada por uma extensa superfície vegetada com grama em crescimento ativo, cobrindo totalmente a superfície do solo, porém com ou sem restrição hídrica.

Evapotranspiração

da cultura (ETc) – É a quantidade de água utilizada por uma cultura, em qualquer fase de seu desenvolvimento, desde o plantio/semeadura até a colheita, quando não houver restrição hídrica.

$$ETc = Kc.Eto$$

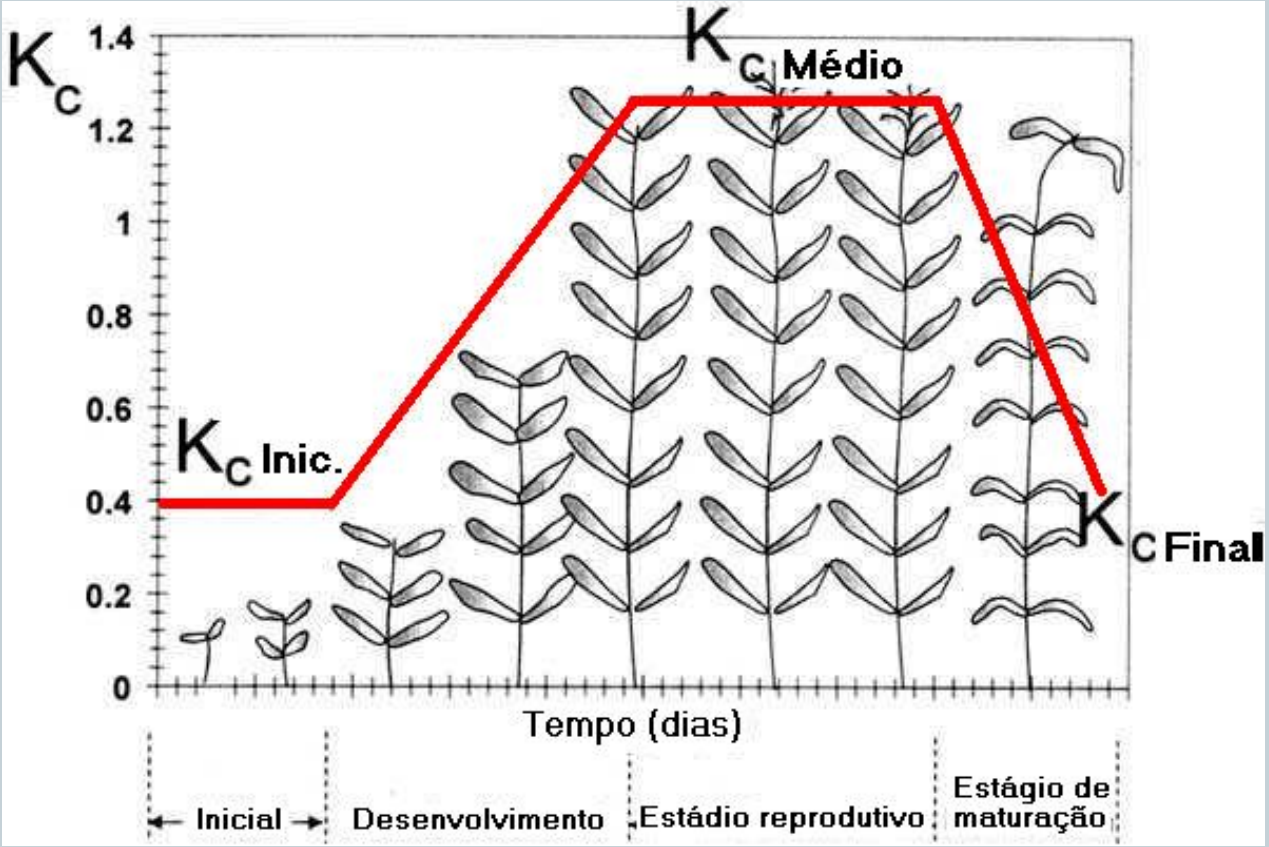
Coeficiente de cultura (Kc)

Evapotranspiração

Cultura

Evapotranspiração

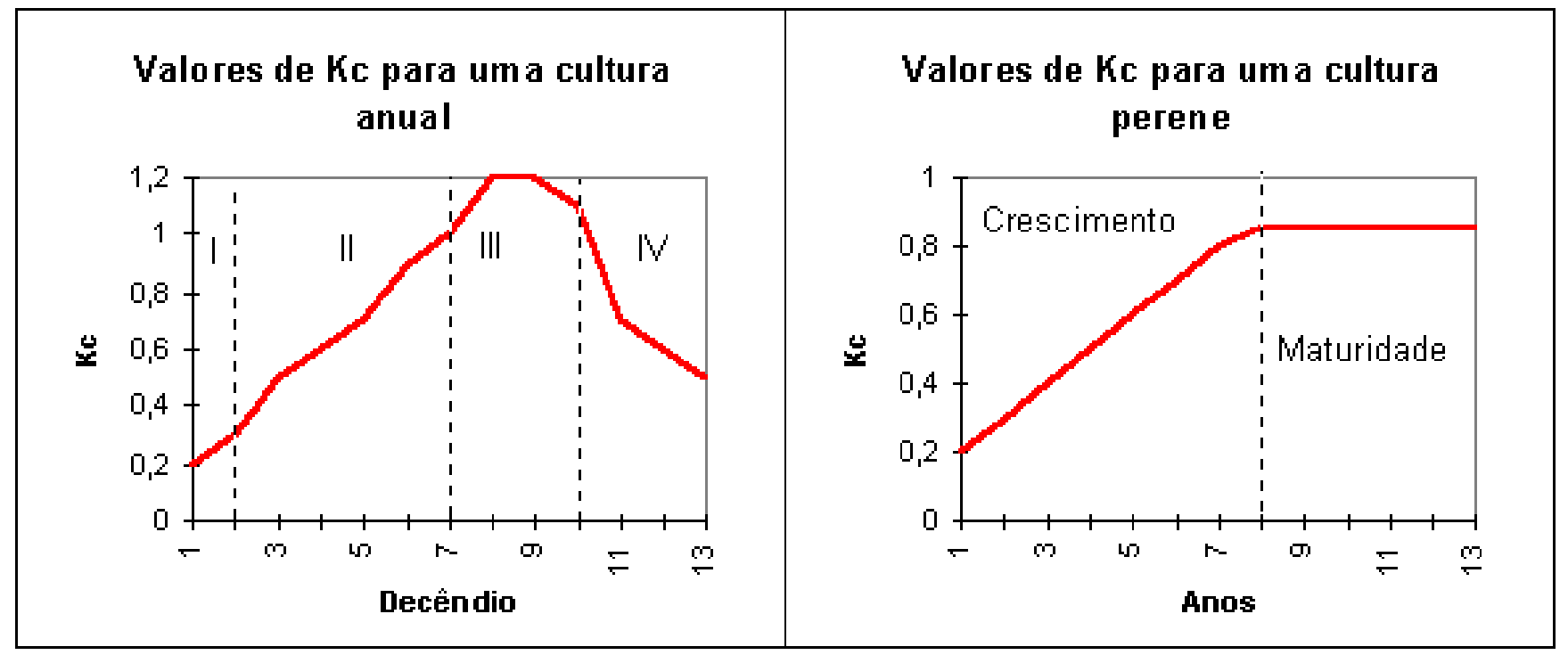
Coeficiente da Cultura -Kc



Adaptado FAO Boletim 56 (1998); Pereira et al. (2002).

Evapotranspiração

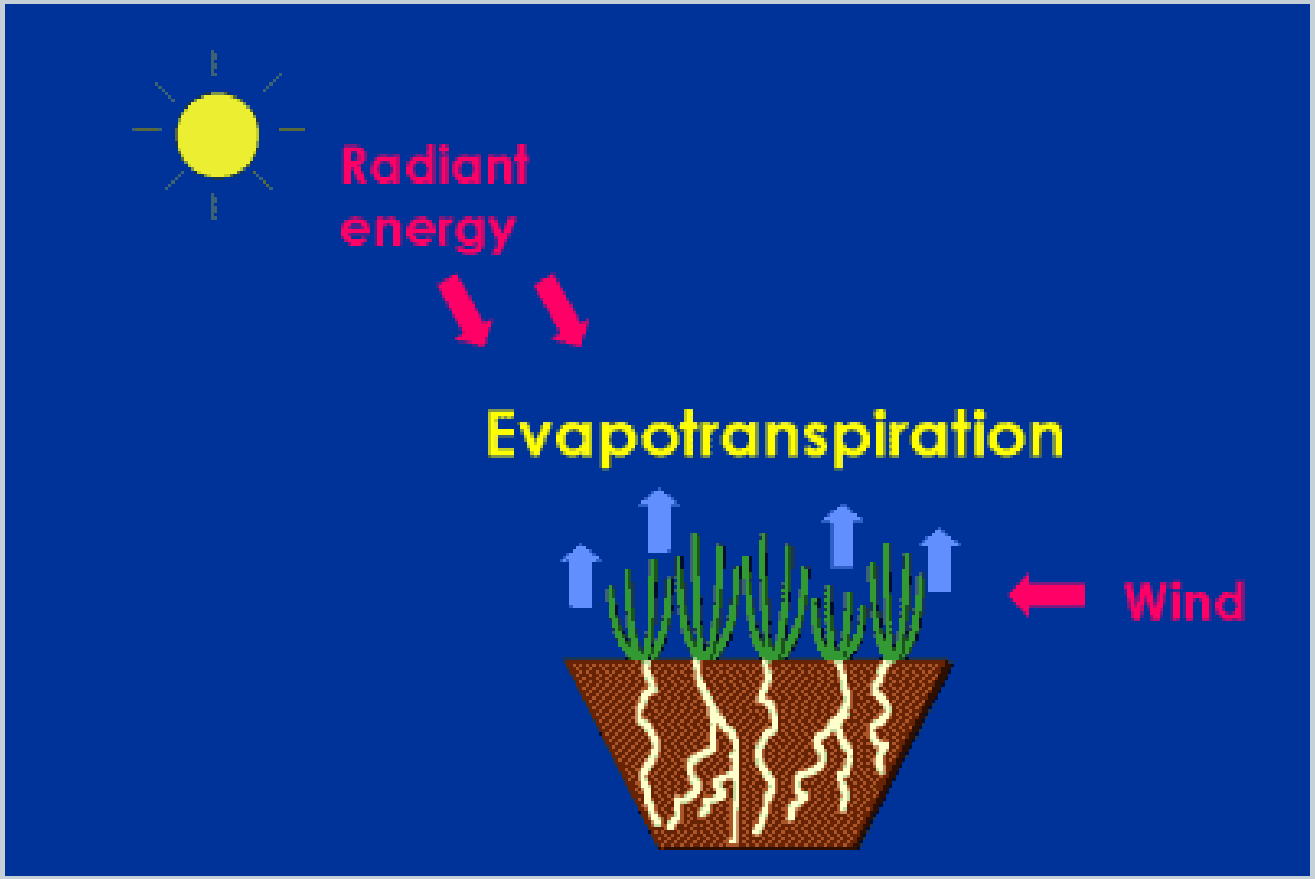
Coeficiente da Cultura -Kc



Fonte: Pereira et al. (2002).

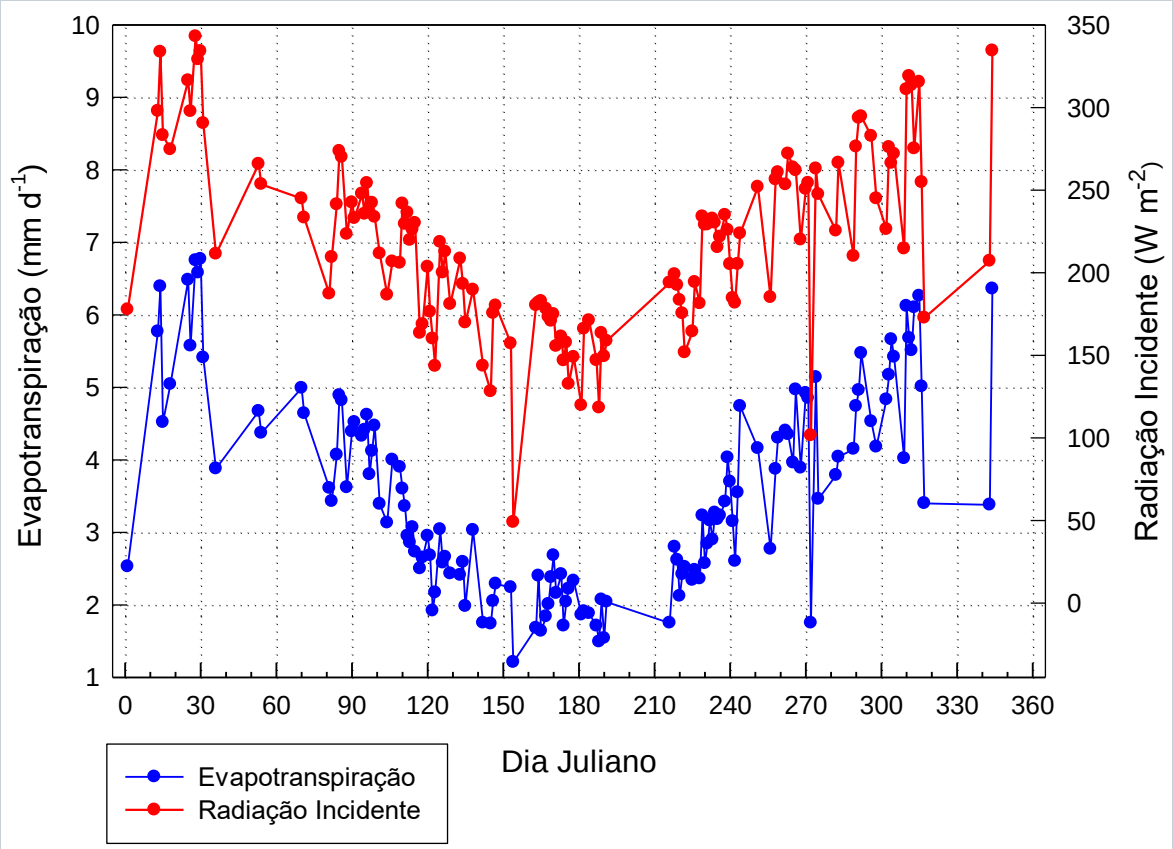
Evapotranspiração

Fatores



Evapotranspiração

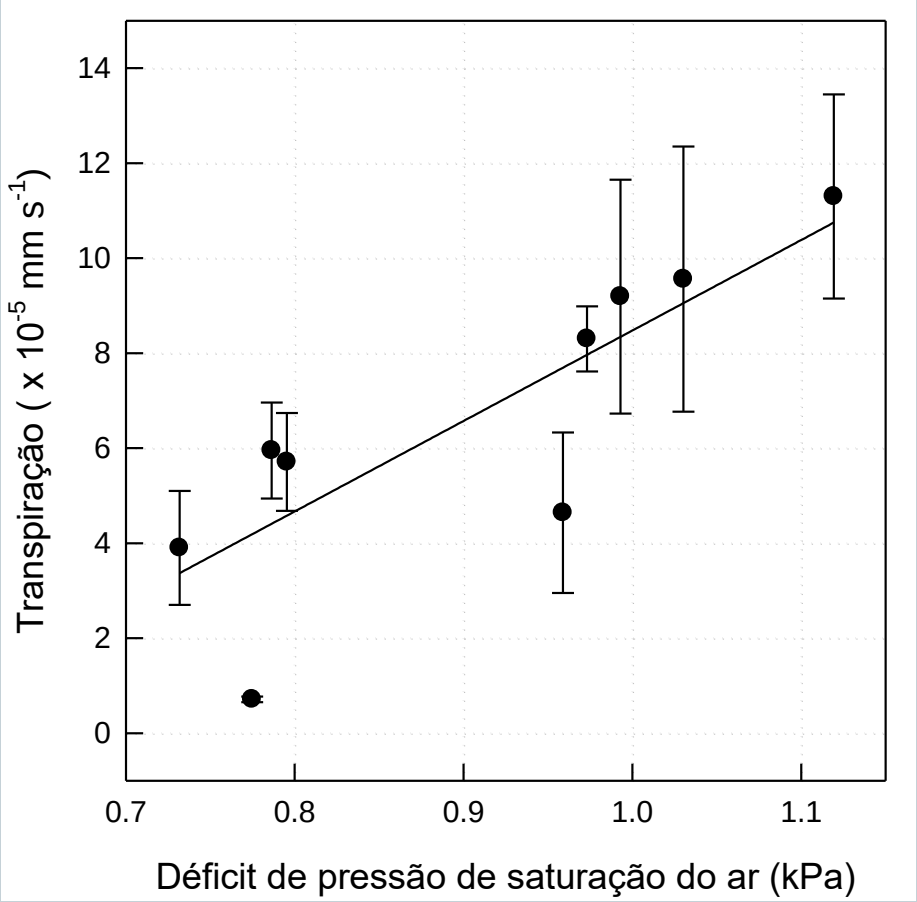
Fatores: Clima



Fonte: Lyra (2000)

Evapotranspiração

Fatores: Clima



Fonte: Lyra (2000)

Evapotranspiração

Fatores: Planta

Espécie

Coeficiente de reflexão (albedo)

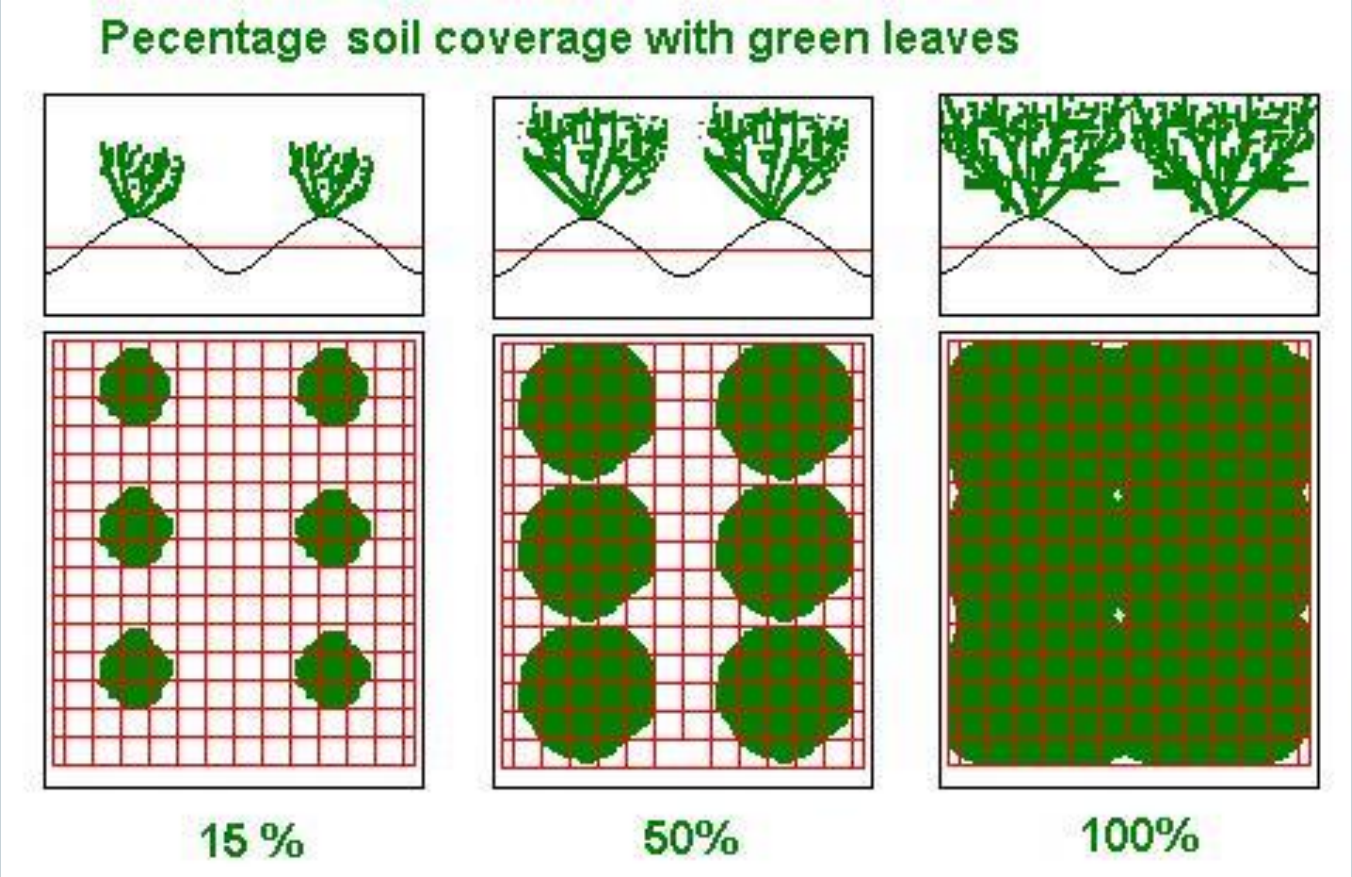
Estádio de desenvolvimento

Altura da planta

Profundidade do sistema radicular

Evapotranspiração

Fatores: Planta



Evapotranspiração

Fatores: Solo

Espaçamento / densidade de plantio

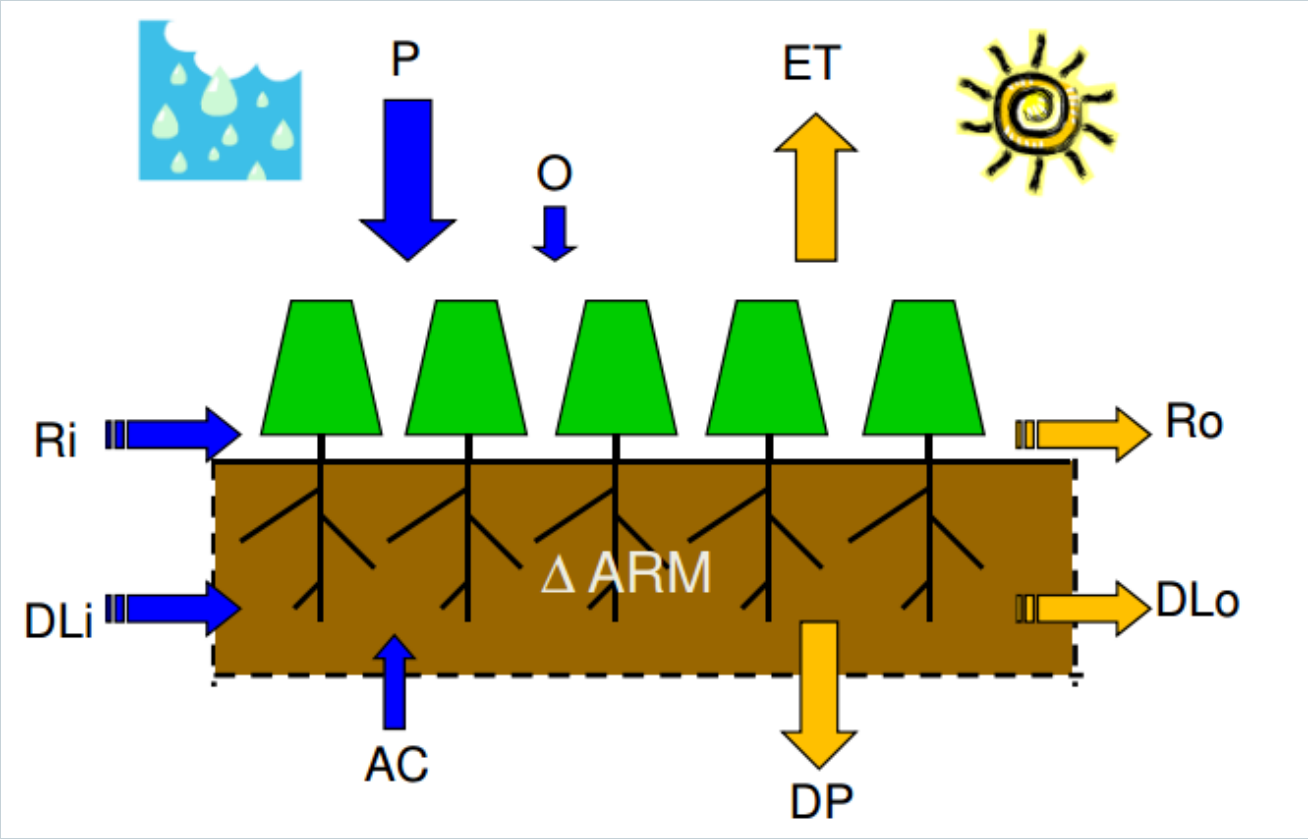
Orientação do plantio

Capacidade de armazenamento de água

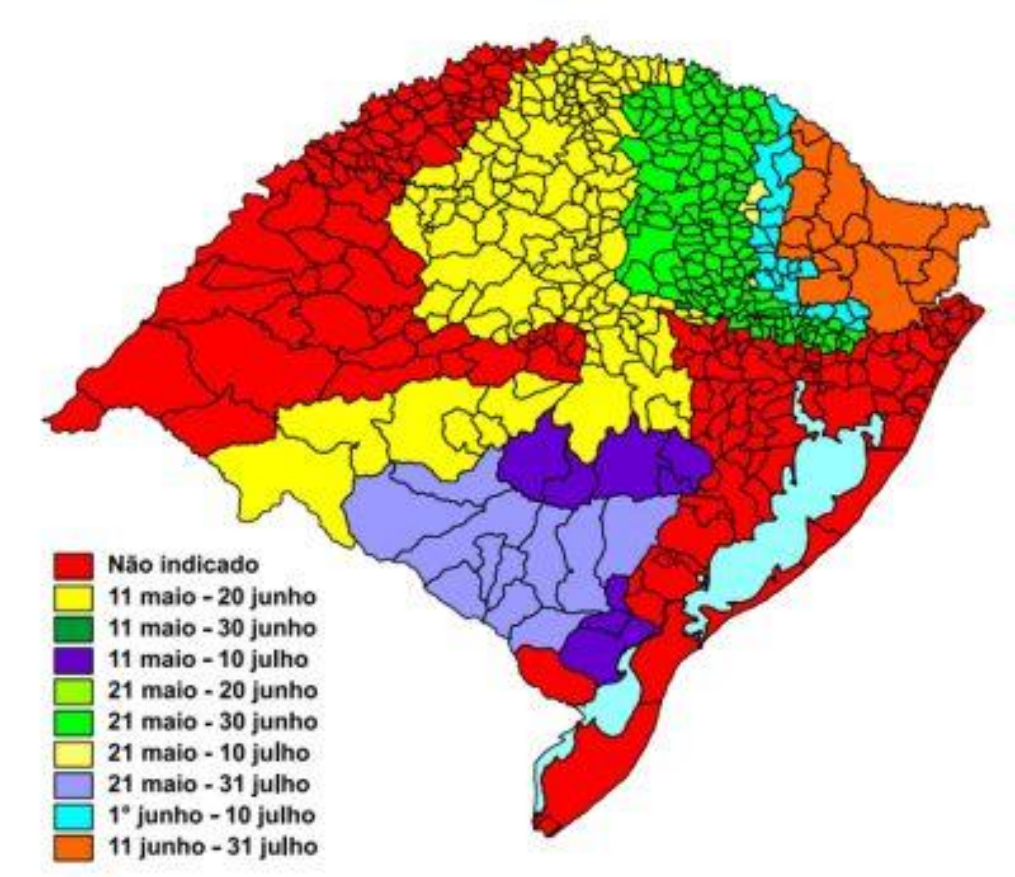
Impedimentos

Evapotranspiração

Balanço Hídrico Climatológico



Zoneamento Agrícola



Permite a cada município identificar a melhor época de plantio das culturas, nos diferentes tipos de solo e cultivares

Zoneamento Agrícola

- Permite determinar a melhor época de semeadura
- Determinar as fases mais críticas para o desenvolvimento da cultura
- Condições climáticas favoráveis para o desenvolvimento de doenças

Zoneamento Agrícola

- Probabilidade de ocorrência de adversidades climáticas como falta de água no solo, temperaturas muito baixas ou muito elevadas prejudiciais às culturas

- Atualmente, o zoneamento ganhou maior importância em função da nova dinâmica de normatização do crédito e seguro agrícola a empreendimentos conduzidos na área de abrangência do zoneamento agrícola.

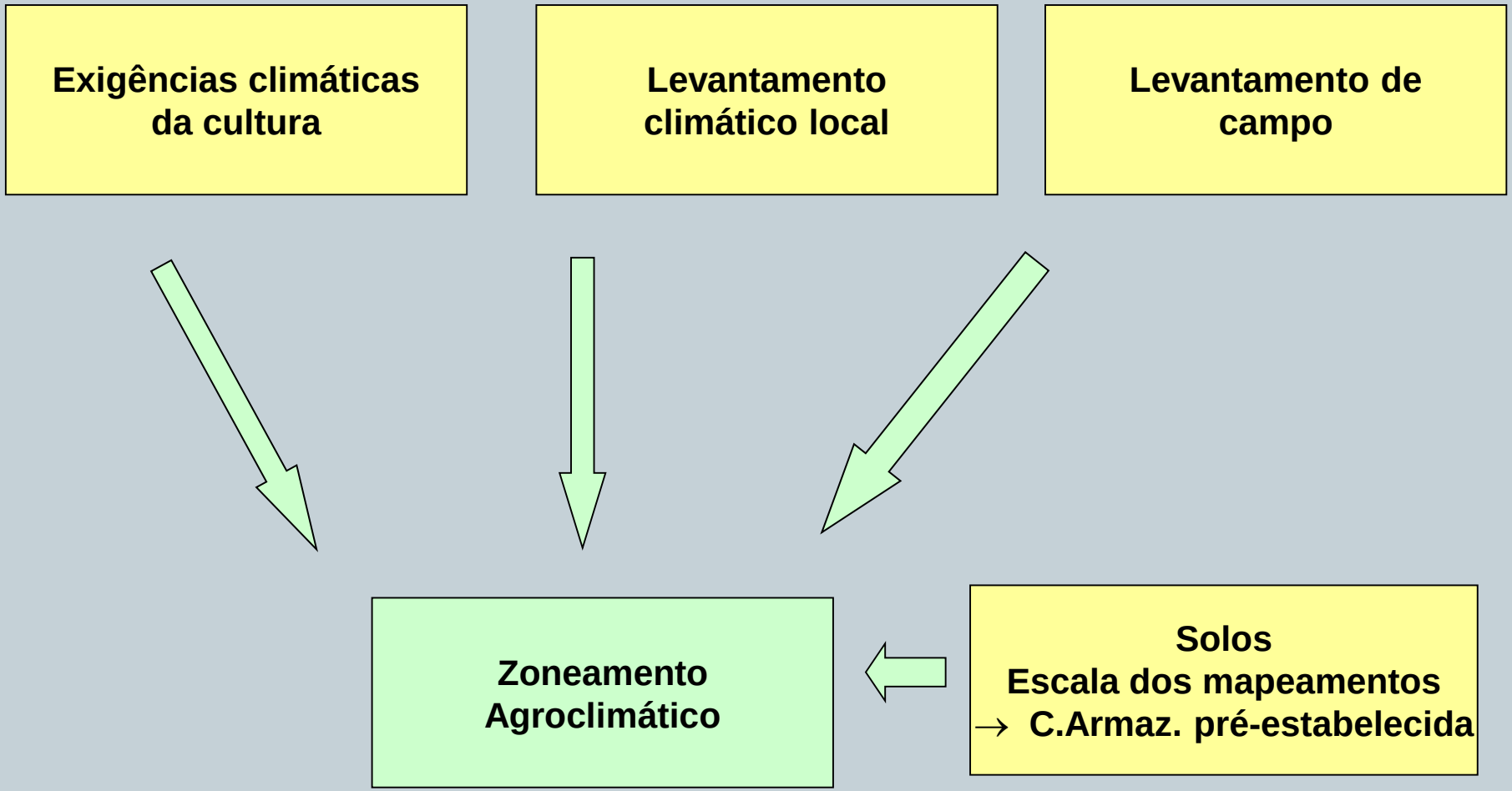
Zoneamento Agrícola

	TIPO DE ZONEAMENTO			
	Aptidão Agrícola	Agroclimático	Agrícola	Agrícola de Risco Climático
Análise de risco	-Potencial do: *clima * solo * fatores sócio-econômicos (locais e regionais) -Potencial edafoclimático	-Identifica áreas de maiores e menores riscos climáticos	- Baseado no tipo de solo, clima local, e ciclo fenológico da planta.	- Considera o balanço hídrico, (relação clima, solo e planta) - O risco quantificado, através de análises probabilísticas e frequências.
Tipo de indicativo	Área apta - Área marginal -Área inapta	- Define melhor época de plantio Identifica áreas com maior potencial de produtividade	-Define melhor época de plantio - Indica cultivares habilitados para o local	- Por município, tipo de solo e ciclo da cultivar.
Problemas encontrados	- Mapas para as culturas em grande escala -Indicativos aproximados - Estudos não consideram ocorrência de riscos toleráveis (secas e geadas)	- Estudos não consideram ocorrência de riscos toleráveis (secas e geadas) -Potencial climático para o estabelecimento das culturas agrícolas	- Estudos não consideram ocorrência de riscos toleráveis	- Estudos não consideram informações referentes à microclimas - Interpolação de dados

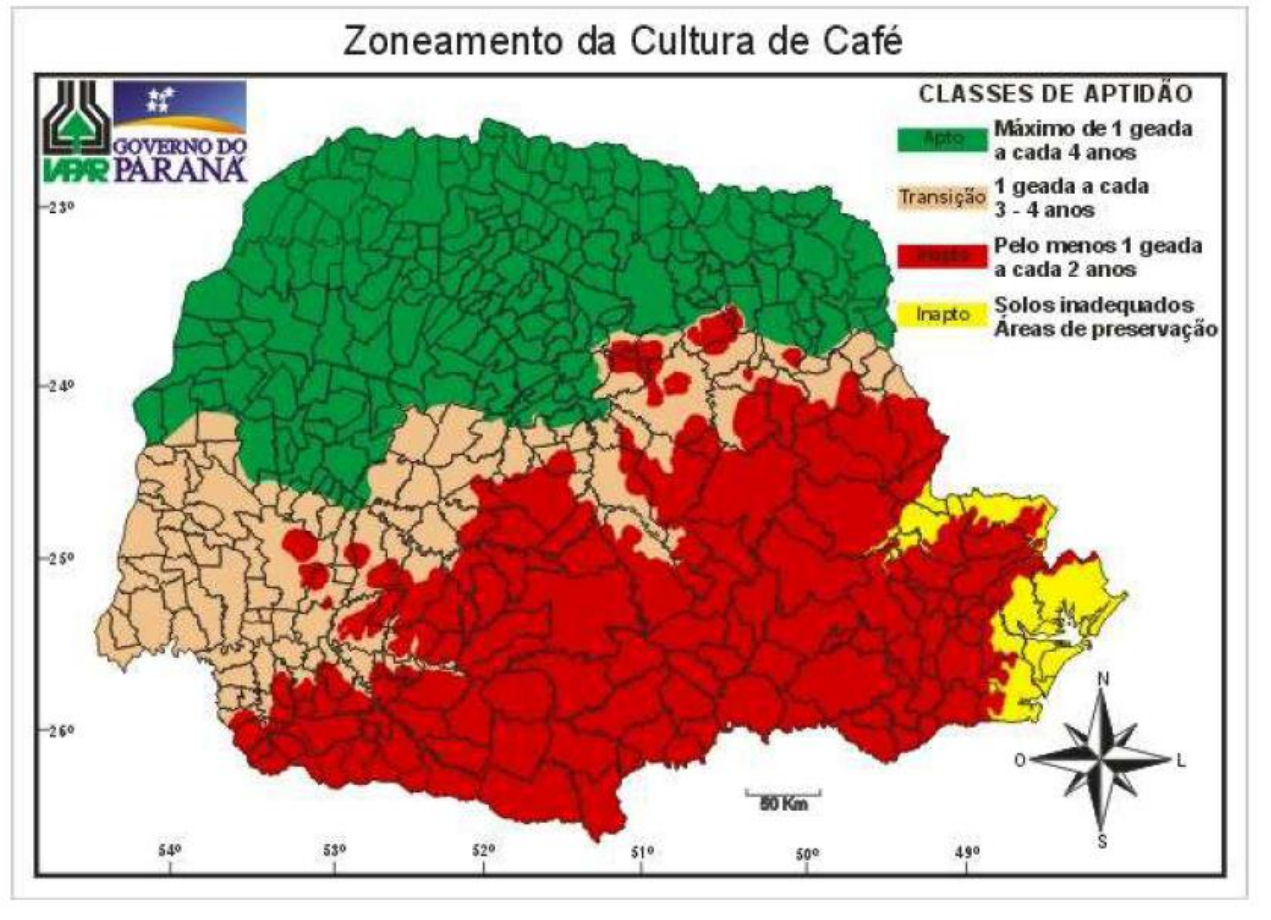
Zoneamento Agroclimático

- É uma ferramenta de ***análise de risco*** que considera a *variabilidade climática*, características de *solo* e características ecofisiológicas da *cultura*;
- Instrumento indireto de transferência de tecnologia;
- Contribui para racionalização do ***crédito agrícola***, redução de perdas, proteção do solo e do meio ambiente;
- Contribui para o aumento da produção/produtividade agrícola nacional.

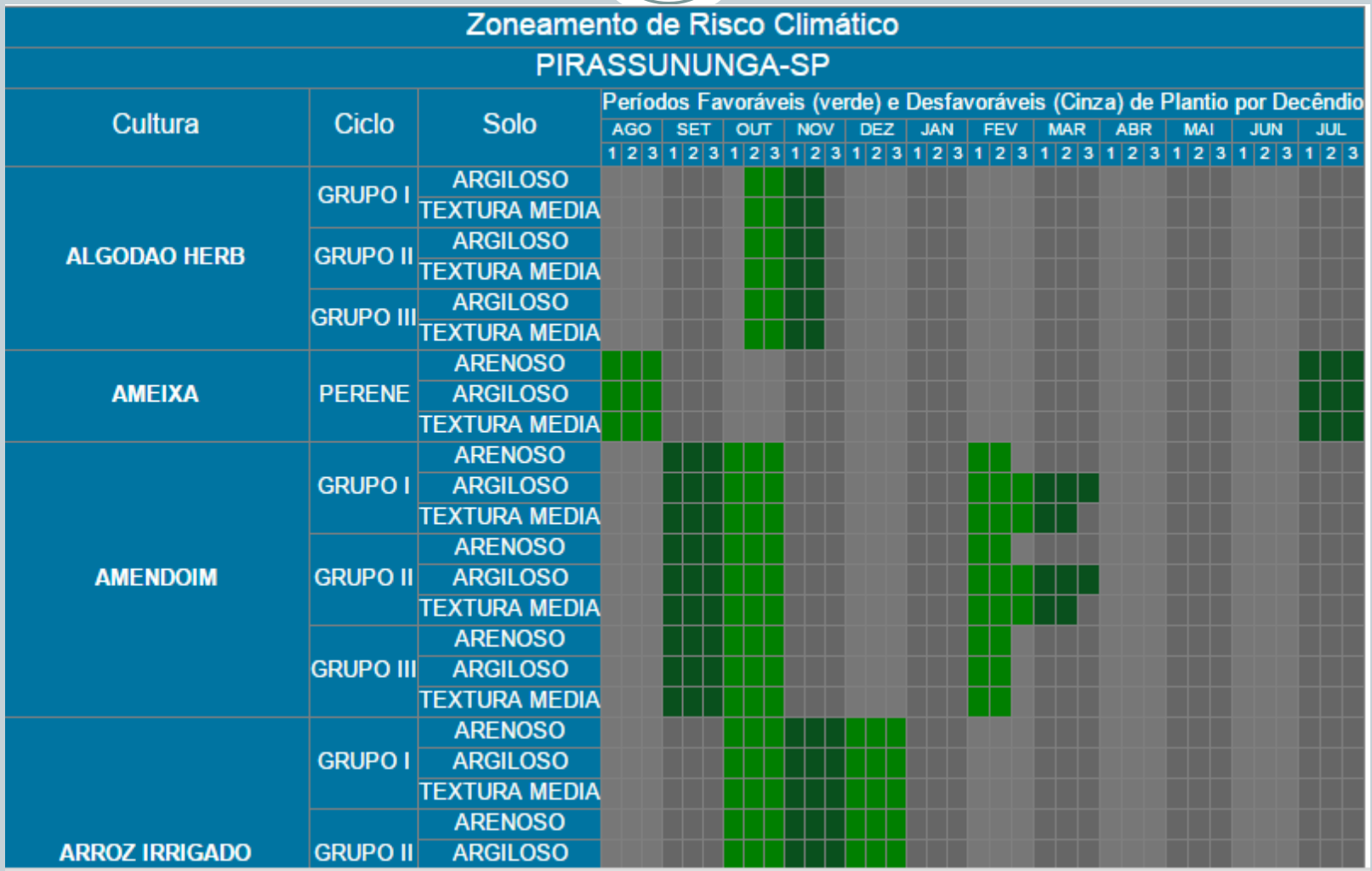
Zoneamento Agroclimático



Zoneamento Agroclimático



Zoneamento Agroclimático



http://www.agritempo.gov.br/zoneamento/tabelas/SP/PIRASSUNUNGA_G.HTML

Bibliografia

OMETTO, J. C. Bioclimatologia Vegetal.. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1981. 425p.

AYOADE, J. O . Introdução à climatologia para os trópicos. São Paulo: DIFEL, 1986. 332p.

JONES, H. G. Plants and microclimate: a quantitative approach to environmental plant physiology. Cambridge: University Press, 1994. 428p.

PASCALE, A.J.; DAMARIO, E.A. Bioclimatologia Agrícola e Agroclimatologia. Buenos Aires. Editorial Facultad Agronomia, 2004. 550p.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A . R. Meteorologia básica e aplicações. Viçosa: Imprensa Universitária, 1991. 449p.

RAMALHO FILHO, A. Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras. 3. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1994. 65p.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações. Barueri: Manole, 2004, 478 p.

PERIÓDICOS: Agricultural and Forest Meteorology, Revista Brasileira de Agrometeorologia, Revista Brasileira de Ciência do Solo; Soil Science; Geoderma; Agronomy Journal; Advances in Soil Science.

DÚVIDAS??

tamaragomes@usp.br